



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Fakultet for miljøvitenskap og teknologi
Institutt for matematiske realfag og teknologi

Masteroppgave 2014
30 stp

IncubAid; Videreutvikling av rimelig og fullverdig kuvøseløsning for å øke overlevelse hos premature barn født i utviklingsland

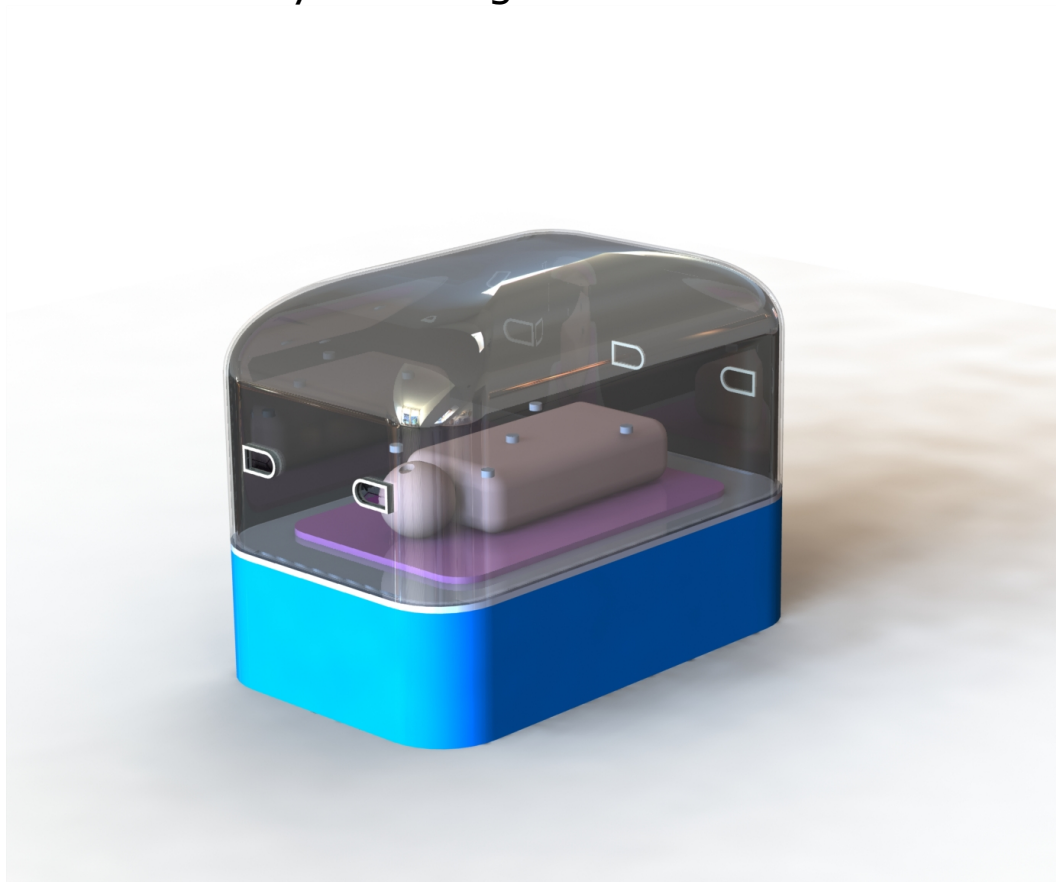
Kartlegging av barnets behov, kuvøsedesign og tekniske spesifikasjoner.

Øystein Aagetvedt Larsen

IncubAid

Videreutvikling av rimelig og fullverdig kuvøseløsning for å øke overlevelse hos premature barn født i utviklingsland

Øystein Aagetvedt Larsen



Institutt for Matematiske realfag og teknologi
Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet



Forord

Denne masteroppgaven er utført av en student hos Institutt for Matematiske realfag og teknologi, ved Universitetet for miljø- og biovitenskap. Master-oppgaven bygger videre på en produktutviklingsoppgave produsert av meg og Sigve Eikrem Finnøy i faget TIP300 – Konsept og produktrealisering.

Motivasjonen for produktidéen kommer fra en historie fra min kjæreste Eli Øyen Thaulow som var på et studieopphold på et sykehus i Nepal. Hun fikk se hvordan helt enkle kuvøser ble bygget i tre, i mangel av bedre utstyr.

Behovet for et slikt produkt har videre blitt bekreftet av overlege og professor Thor Willy Ruud Hansen ved Rikshospitalet i Oslo. Han kunne fra opphold i Jimma i Etiopia bekrefte at høyteknologiske kuvøser blir stående ubrukt på grunn av mangel på teknisk kompetanse om bruk og vedlikehold. Behovet for en ny type kuvøser er også blitt bekreftet av Netsanet Workneh, som er doktor ved Jimma University og Jimma University Specialized Hospital.

Arbeidet med oppgaven har vært spennende og givende. Bekreftelsen fra doktor Ruud Hansen og doktor Workneh på at dette er et produkt det absolutt er behov for har vært spesielt motiverende. Kartleggingen av premature barns fysiologi og behov har vært spesielt utfordrende, men det har gitt meg mye ny kunnskap innenfor et ukjent fagfelt.

Jeg vil rette en takk til Jan Kåre Bøe for god generell veiledning og Carlos Salas for veiledning med strømningssimuleringer. Jeg vil også takke Eli Øyen Thaulow for gode råd og inspirasjon til produktidé/konsept. Videre vil jeg takke overlege Inger Elisabeth Silberg og overlege Thor Willy Ruud Hansen for at de ville dele sin kunnskap og gi gode råd og veiledning. Til slutt vil jeg takke Sigve Eikrem Finnøy for godt samarbeid om prosjektoppgaven i TIP300 som ledet fram til denne masteroppgaven.

Øystein Aagetvedt Larsen

Ås 14.05.2014

Sammendrag

Denne masteroppgaven bygger på et forprosjekt utført av Sigve Eikrem Finnøy og Øystein Aagetvedt Larsen. Et konsept for en kuvøse tilpasset land og sykehus med mindre ressurser ble utviklet. IncubAid-kuvøsen skal ha lav pris, god brukervennlighet, kreve lite vedlikehold og ha enkel service. Mye avansert utstyr blir stående ubrukt som følge av manglende kompetanse om bruk, service og vedlikehold.

FNs fjerde tusenårsmål setter krav til alle land om nedsatt barnedødelighet som en del av fattigdomsbekjempelse. Kuvøser kan være med på å bidra til at FNs tusenårsmål om nedsatt barnedødelighet nås. Barnedødeligheten har gått ned de siste årene, men er langt unna tusenårs målet for 2015. Dette skyldes mye en svært langsom nedgang i nyfødt dødeligheten. IncubAid-kuvøsen kan være et bidrag i denne prosessen.

Behovet for det kuvøsekonseptet som IncubAid-kuvøsen representerer har blitt bekreftet av eksperter i Norge og utlandet. Det stilles krav til pris, brukervennlighet og enkelt vedlikehold/servicemuligheter. IncubAid-kuvøsen tilfredsstiller alle disse punktene.

Denne masteroppgaven tar IncubAid-kuvøsen et skritt videre. Målet var å få utviklet et kuvøsedesign med gode termiske og funksjonelle egenskaper som kan bidra til et godt miljø for det premature barnet.

I prosessen med å videreutvikle IncubAid-kuvøsen har fokuset blitt satt på det premature barnet. Det premature barnets behov og fysiologi har blitt kartlagt. Det premature barnet vil ha behov for et kuvøsemiljø som er tilpasset barnets gestasjonsalder. De ekstremt premature barna (GA < uke 27) vil ha behov for det mest tilpassede kuvøsemiljøet med høye temperaturer og høye luftfuktigheter.

Eksisterende kuvøserteknologi og funksjoner har også blitt kartlagt. Dimensjoner, spesifikasjoner med tanke på temperaturer, luftfuktighet, oppvarmingstid etc. har blitt sammenfattet. Denne informasjonen har blitt brukt som en pekepin for valg av IncubAid-kuvøsens spesifikasjoner.

Den internasjonale standarden IEC-60601-2-19 omhandler krav til kuvøser og inneholder bestemte verdier for kuvøsens miljø, samt testprosedyrer.

Informasjonen tilegnet om det premature barnet, eksisterende kuvøser og IEC-standardene har blitt brukt til å bestemme IncubAid-kuvøsens miljøparametere og spesifikasjoner.

Forskjellige kuvøsedesign, luftkanaldesign og tekniske komponenter har blitt vurdert ved hjelp av strømningssimuleringer utført i SolidWorks Flow Simulation. Det har også blitt designet en pustende barnemodell som er blitt brukt i simuleringene av de forskjellige kuvøsedesignene. Strømningssimuleringene har tatt for seg en rekke forskjellige kuvøsedesign. Arbeidet med å finne det optimale designet har vært en trinnvis prosess, der resultater og erfaringer fra en simulering har blitt brukt til å optimere designet inn mot neste simulering.

Den endelige løsningen er et kuvøsedesign som kombinerer de beste formenes termiske og strømningsrelaterte gode egenskaper med rette veggers funksjonalitet.

Kuvøsetoppen har 2 x 4 mm doble vegger med 4 mm luftslisse mellom ytter- og innervegg. Kuvøsen har dimensjoner 800 x 500 x 700 mm. Et varmeelement på 200 watt bidrar sammen med en Papst 8412 NGLV vifte til at de ønskede verdiene for miljøparameterne oppnås.

Kuvøsen skal kunne oppnå temperaturer opp mot 39 °C med en temperaturvariasjon på mindre enn 0,8 °C. Strømningshastigheten skal ikke overskride 0,1 m/s under normale driftsforhold. Den valgte løsningen tilfredsstiller dette ved 20 °C omgivelsestemperatur.

En del av videreutviklingen av IncubAid-kuvøsen har blitt utført. Det er mye som gjenstår før produktet er ferdig og kan settes i produksjon. Det er et omfattende arbeid hvor barnets sikkerhet må vektlegges.

Abstract

The background for this master-thesis is a pilot-project done by Sigve Eikrem Finnøy and Øystein Aagetvedt Larsen. In this project a concept for an incubator customized for developing countries and hospitals with less resources were developed - IncubAid. This incubator is set out to have a low price, be easy to use and to demand little or simple service and maintenance. Today a lot of advanced equipment is left unused due to lack of competence in the usage, service and maintenance.

United Nations Fourth Millennium Development Goal requires all countries to reduce their child mortality rates by 2015, as a part of poverty reduction. Incubators may have a role in achieving this. Child mortality has been reduced over the last years, but is still far away from achieving the Millennium Development Goal within 2015 due to a very slow decrease in neonatal mortality rate. IncubAid may contribute to a bigger decrease.

Experts in Norway and abroad have confirmed the need for such a concept that IncubAid represents. There is a lack of incubators that provide low price, easy usability and simple maintenance. IncubAid can fulfill all of these needs.

This master thesis evolves IncubAid to the next level. The goal is to develop an incubator-design that abides the thermic- and functional qualities needed to give the best outcome for the premature infant.

In this thesis the premature infant has been in focus, and its needs and physiology have been clarified. The premature infant needs an incubator environment that is adjusted to its gestational age.

The extremely premature infants (gestational age < 27 weeks) are the ones that need the most accommodated environment, with high temperatures and high humidity.

The technology and functions of existing incubators have been clarified. Dimensions and specifications of temperatures, humidity, heating-time etc. have been summarized and used as guidance in the evolution of IncubAid.

The international standard IEC-60601-2-19 concerns the requirements of an incubator, and contains certain values for the environment and procedures on how to test an incubator.

The information achieved about the premature infant, already existing incubators and the IEC-standard has been used as a background to set the values of environment and specifications of the IncubAid-incubator.

Different designs of incubators, designs of air-conductors and technical components have been evaluated by performing flow simulations using "SolidWorks Flow Simulation". A model of a breathing infant has also been designed to use in the different simulations of the different incubator-designs. The flow simulations have evaluated different designs of incubators. It has been an iterative process to find the optimal design for the incubator, and results from one simulation have been used to optimize the design of the next simulation.

The final solution is a design that combines the thermal and flow-related properties of the arched-formed incubator with the functionality of the straight-walled incubator. The top of the incubator has 2 x 4 mm double-walls, with 4 mm of airspace between the outer- and inner wall. The dimensions of the incubator are 800 x 500 x 700 mm. A heating-element of 200 watts contributes together with a "Papst 8412 NGLV" - fan to achieve the wanted environmental values.

Requirements have been set for the incubator. It must achieve temperatures upon 39 °C, and with variations in temperature of less than 0,8 °C. The flow-velocity cannot exceed 0,1 m/s in normal conditions. The final solution of the IncubAid-design satisfy all of this when the surrounding temperature is 20 °C.

One part of the evolvment of IncubAid has been carried out. Still a lot remains before the product is completed and ready for production. It is an extensive work where the infant's safety must be emphasized.

Innhold

Side:

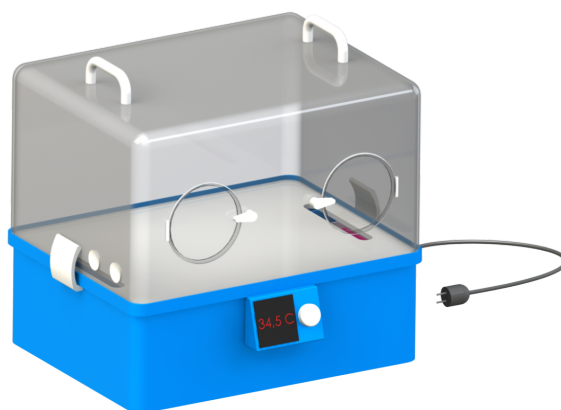
1. Innledning	9
1.1 Bakgrunn	9
1.2 Markedsbehov og potensiale	15
1.3 Problemstillinger	16
2 Prosjektplan	18
2.1 Hovedmål.....	18
2.2 Delmål.....	18
2.3 Arbeidsplan.....	18
2.4 Begrensninger.....	19
3 Terminologi og metodebeskrivelse	20
3.1 Begreper	20
3.2 Symboler og enheter.....	21
3.3 Formelbruk.....	21
3.4 Verktøy.....	21
3.5 Prosesstrinn.....	21
4 Grunnlagsteori.....	23
5 Kunnskapsstatus og beskrivelser.....	26
5.1 Det premature barnets behov	26
5.2 Eksisterende løsninger	31
5.3 Standarder.....	33
5.4 Ønskede miljøparametere	35
6 Designgrunnlag og formvurdering	38
6.1 Designalternativer.....	40
6.1.1 Kuvøsetopp	40
6.1.2 Lufttilførsel.....	41
7 Simuleringsgrunnlag.....	45
8 Strømningssimuleringer	53
8.1 Simuleringsregime	53
8.2 Valg av simuleringsparametere og simuleringsoppsett.....	54
9 Simuleringsresultater	57
9.1 Resultater fra trinn 1 av simuleringene.....	57
9.2 Design, simulering og resultater trinn 2	59
9.3 Design, simulering og resultater trinn 3 av simuleringene.....	67
9.4 Trinn 4 av simuleringene, endelig verifikasjon av design.....	82
9.5 Ekstern screening	83
10 Løsningsvalg.....	84
10.1 Sikkerhet	86
10.2 Styring	86
11 Løsningsvisualisering	87
12 Produksjon og kostnadsvurderinger	89
13 Prosessevaluering og diskusjon.....	91
13.1 Konseptutviklingsarbeidet og forbedringspotensialer	91
13.2 Designrevisjon, produksjon og kostnadsreduksjon.....	92

14 Konklusjon	93
14.1 Resultater og anbefalinger	93
14.2 Videre arbeid	93
15 Kilder	95
16 Vedlegg	98
16.1 Vedlegg 1: Tabelliste	98
16.2 Vedlegg 2: Vedleggsliste CD	100
16.3 Vedlegg 3: Mål og dimensjoner endelig løsning.....	101
16.4 Vedlegg 4: Mål og dimensjoner simuleringsmodeller	104
16.5 Vedlegg 5: Utfyllende simuleringsoppsett.....	107
16.6 Vedlegg 6: Verifikasjon.....	109
16.7 Vedlegg 7: Pristilbud fra Ny Plast AS.....	111

1. Innledning

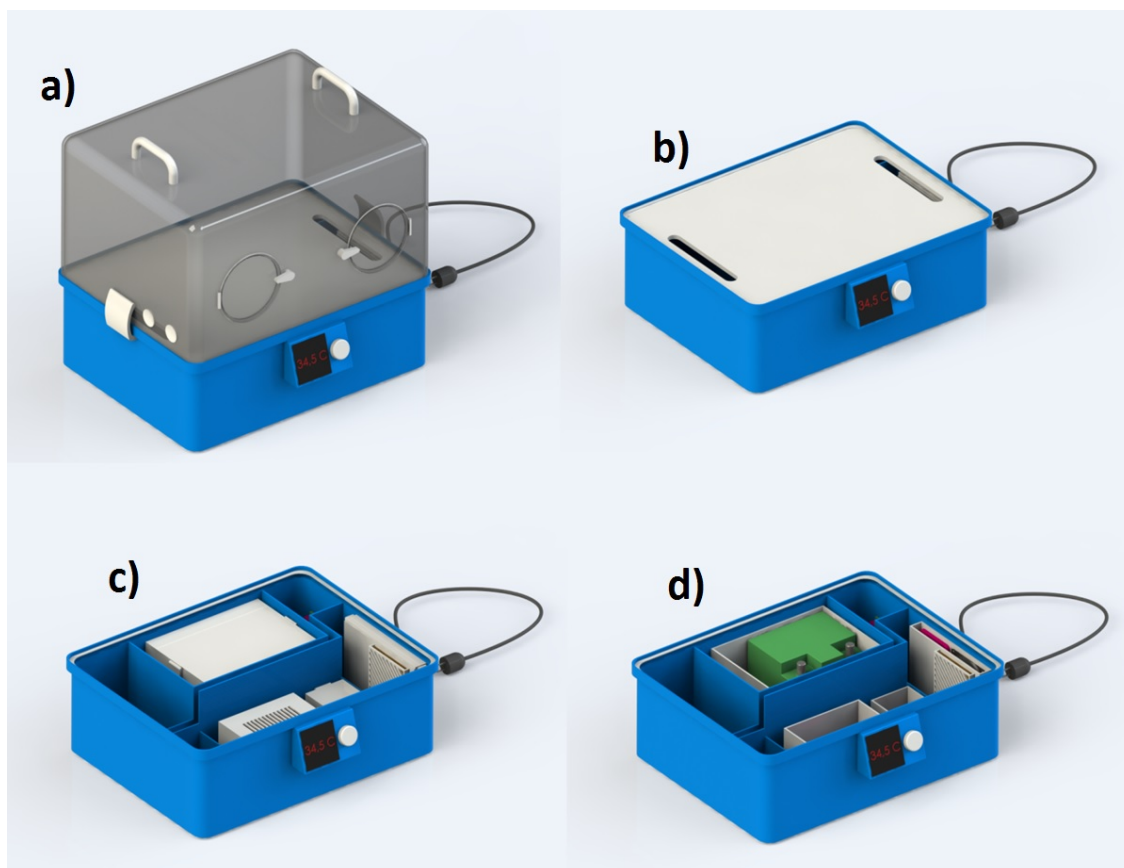
1.1 Bakgrunn

Denne masteroppgaven er en videreutvikling av et produktutviklingsprosjekt^[1]. Høsten 2013 ble utviklingen av produktet IncubAid påbegynt av Øystein Aagetvedt Larsen og Sigve Eikrem Finnøy. Dette var en produktutviklingsoppgave i forbindelse med faget TIP300. Etter en utvelgelse av produktidéer stod en ny type kuvøse for premature barn igjen som det mest spennende og fornuftige prosjektet. Produktidéen stammet fra en fortelling fra Okhaldhunga i Nepal. Sykehuset i Okhaldhunga hadde kjøpt utrangerte, men fungerende kuvøser fra Norge. Disse ble dessverre knust under frakten og kunne derfor ikke brukes. Som en nødløsning ble en kuvøse bygget i tre. På bakgrunn av denne historien ble et konsept for en ny type kuvøse for premature barn utviklet. Kuvøsen og prosjektet fikk etter hvert navnet IncubAid. "Incub" fra "incubator" som er det engelske ordet for kuvøse. "Aid" fra det engelske ordet for bistand. Kuvøsen skulle være laget i et materiale som tåler frakt. Den skulle være presset på pris og mye rimeligere i innkjøp enn dagens konvensjonelle kuvøser. I tillegg skulle kuvøsen være enkel i bruk og enkel å vedlikeholde. Kuvøsen skulle også bidra til økt sjanse for overlevelse for premature barn.



Figur 1: IncubAid-kuvøsen ble resultatet fra produktutviklingsprosjektet i TIP300. Illustrasjonen er hentet fra IncubAid prosjektrapporten i faget TIP300^[1].

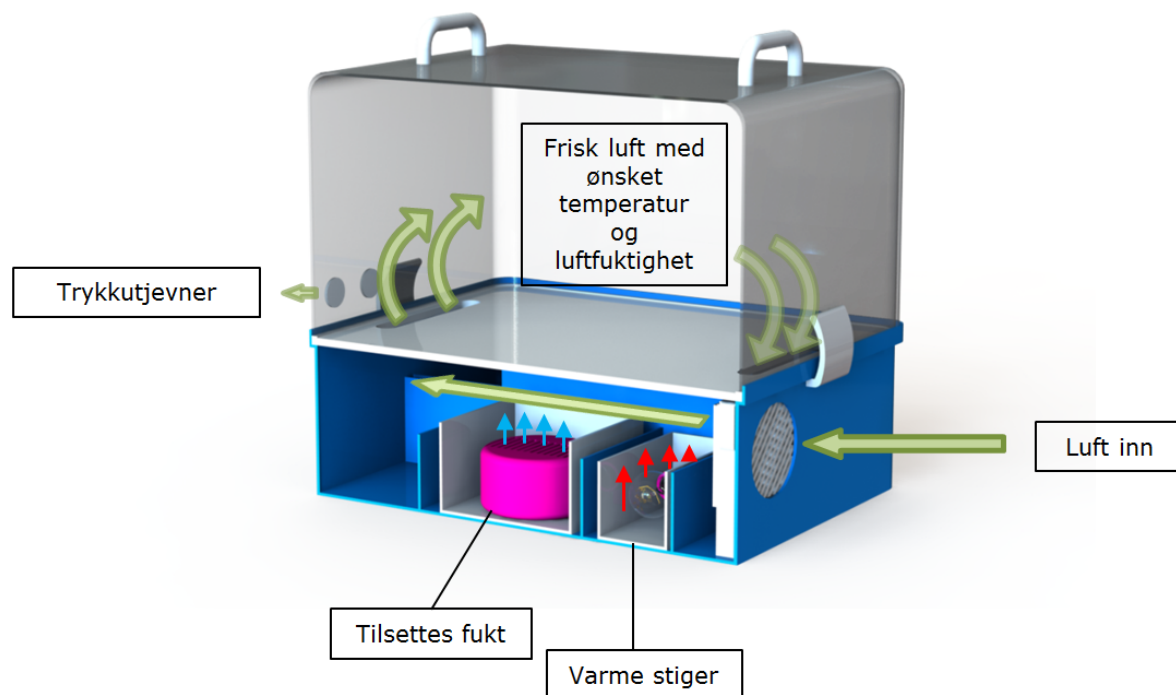
Etter en intern og ekstern screening ble det endelige produktet en modulbasert kuvøse. De tekniske komponentene ble implementert som "Plug and play" moduler. De tekniske komponentmodulene bestod av en temperaturmodul, luftfuktighetsmodul, ventilasjonsmodul og batterimodul. Ved å implementere de tekniske komponentene i "plug and play" moduler kan kuvøsens nedetid og reparasjonstid reduseres til et minimum. Ekstra moduler kan kjøpes og lagres i reserve. Dersom det skulle bli en feil på en modul kan denne enkelt byttes ut med en tilsvarende reservemodul. De tekniske komponentmodulene har lave totalkostnader ettersom de består av meget rimelige komponenter. Temperaturmodulen skal sørge for å tilføre varme til kuvøsen slik at riktig temperatur oppnås. Denne består av en sokkel og en lyspære som produserer varme. Luftfuktighetsmodulen tilfører fuktighet til lufta. Denne består av en luftfukter. Ventilasjonsmodulen består av en liten elektrisk vifte og en hepa-luftfilter. Batterimodulen består av et 12 litium-ion batteri. Dersom strømtilførselen på sykehuset er ustabil vil batterimodulen med det oppladbare batteriet kunne drive kuvøsen i noen timer uten strømtilførsel.



Figur 2: Kuvøsen består av få deler. En gjennomsiktig kuvøsetopp, en plate og kuvøsebunnen med komponentmoduler, elektrisk anlegg og styringspanel. a) viser den komplette kuvøsen. b) Kuvøsetoppen er fjernet. c) Platen er tatt av og kuvøsebunnen med de tekniske komponentmodulene vises. d) viser de innholdet i de komponentmodulene. Modulene inneholder forskjellige tekniske komponenter. Illustrasjonen er hentet fra IncubAid prosjektrapporten i faget TIP300^[1].

Kuvøsens topp var tenkt rektangulær av hensyn til produksjonskostnader. Kuvøsetoppen har tilkomstluker slik at barnet kan undersøkes uten å måtte ta av kuvøsetoppen. Panelet i forkant var tenkt å skulle være meget lettforståelig og lettbetjent. Dette ville føre til en brukervennlig kuvøse. Kuvøsebunnens inneholder de tekniske modulene. Designet er tilpasset kuvøsetoppen og de tekniske modulene den inneholder. Kuvøsebunnen inneholder også strømkabler og en styringsenhet for regulering av kuvøsemiljøet etter barnets behov. Strømkablene har enkel tilkobling til de forskjellige modulene som gjør utskiftning enkelt. Hver modul har sin egen plass i kuvøsebunnen.

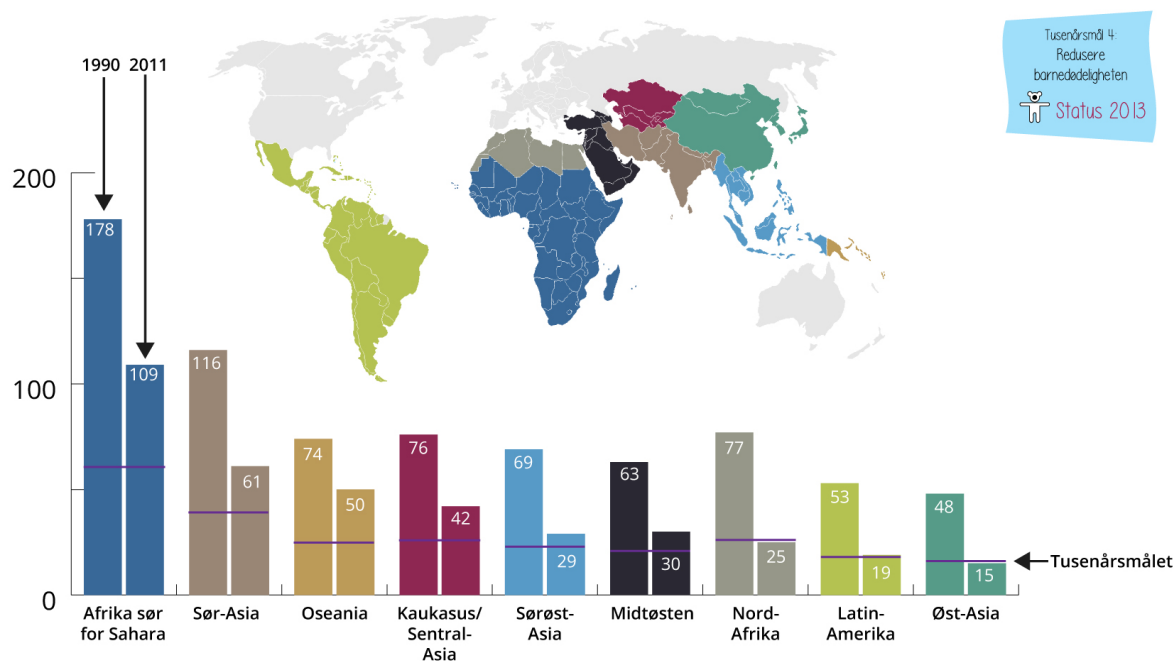
Utover dette består kuvøsen av en plate som barnet skal ligge på. Platen har åpninger på hver kortsida. Gjennom åpningene kommer luft inn i kuvøsetoppen og til barnet.



Figur 3: Luftstrømning gjennom kuvøsen. Ventilasjonsmodulen med vifte sender luft inn i kuvøsen. Lufta blir oppvarmet av temperaturmodulen før den blir fuktet av luftfuktighetsmodulen. Deretter føres lufta opp gjennom åpninger i platen og inn i kuvøsen. Et styringssystem tilkoblet styringspanelet gir riktige miljøverdier for barnet. Illustrasjonen er hentet fra IncubAid prosjektrapporten i faget TIP300^[1].

Mye arbeid gjenstår før IncubAid-kuvøsen kan ferdigstilles. Denne masteroppgaven tar prosjektet et steg videre. Denne oppgaven kunne tatt for seg flere aspekter ved IncubAid-kuvøsen. TIP300-prosjektet omhandler i liten grad barnet som skal ligge inne i kuvøsen. Det var derfor et klart behov for å kartlegge barnets behov og fysiologi nå. Senere utklipping av IncubAid-kuvøsen vil dra nytte av det som framkommer i denne oppgaven. Barnets behov må settes først.

I en internasjonal sammenheng kan IncubAid-kuvøsen kobles til FNs tusenårsmål om bekjempelse av fattigdom. Tusenårsmålene inneholder 8 konkrete mål som skal nås innen 2015. Målene ble vedtatt av alle verdens land i år 2000. Spesielt er det i forbindelse med mål nummer 4 at IncubAid-kuvøsen kan spille en rolle. Mål nummer 4 omhandler barnedødelighet (barn som dør innen fem år etter fødsel). IncubAid-kuvøsen kan på sikt bidra til at dette målet nås. Målet er at barnedødeligheten skal reduseres med 2/3 mellom 1990 og 2015. På verdensbasis døde 90 av 1000 levendefødte barn i 1990. I 2012 var dette tallet 48. Det betyr en nedgang i barnedødeligheten på godt over 1/3. I noen områder av verden er målet på 2/3 i ferd med å nås. Men i de fleste områder er det fortsatt et godt stykke igjen. Spesielt gjelder dette Afrika sør for Sahara, sentral- og sør-Asia og områder av Oseania.^[2]



Barn som dør før de fyller fem år (dødsfall per 1000 fødsler)



Kilde: UNSTATS Millennium Indicators

Figur 4: Barnedødelighet for forskjellige områder av verden. Søylene viser 1990- og 2011-nivåer for barnedødelighet. Den lille streken markerer tusenårsmålets verdi for regionen på 1/3 av 1990-nivået.^[2]

Nyfødt dødeligheten (barn som dør innen 28 dager etter fødsel) har mye av skylden for at FNs fjerde tusenårs mål er et godt stykke unna å bli nådd. For selv om barnedødeligheten har gått mye ned de siste årene, har nyfødt dødeligheten sunket mindre.^[2]

Av dødsårsaker blant barn under 5 år står fødselskomplikasjoner ved for tidlig fødsel for 12 % av alle dødsårsaker.

Tall fra Verdens Helseorganisasjon viser at det i 2012 døde 21 av 1000 levendefødte barn innen 28 dager etter fødsel. Dette tilsvarer en nyfødt dødelighet på 2,1%. Antallet dødsfall for barn innen 28 dagers levetid var på 2,85 millioner i 2012.^[3]

Tabell 1: Egenprodusert tabell basert på tall fra Verdens Helseorganisasjon. Tabell med oversikt over barne- og nyfødtdødelighet i forskjellige verdensregioner. Tabellen viser totalt antall dødsfall og antall dødsfall per 1000 fødsler^[3]:

Barnedødelighet antall dødsfall x 1000			
	1990	2012	Nedgang
Globalt	12621	6553	48,1 %
Europa	417	136	67,4 %
Sørøst-Asia	4525	1792	60,4 %
Afrika	3593	3071	14,5 %
Nyfødtdødelighet antall dødsfall x1000			
	1990	2012	Nedgang
Globalt	4625	2852	38,3 %
Europa	179	67	62,6 %
Sørøst-Asia	1803	981	45,6 %
Afrika	924	1032	-11,7 %
Barnedødelighet antall dødsfall / 1000 fødsler			
	1990	2012	Nedgang
Globalt	90	48	46,7 %
Europa	32	12	62,5 %
Sørøst-Asia	118	50	57,6 %
Afrika	173	95	45,1 %
Nyfødtdødelighet antall dødsfall /1000 fødsler			
	1990	2012	Nedgang
Globalt	33	21	36,4 %
Europa	14	6	57,1 %
Sørøst-Asia	47	27	42,6 %
Afrika	44	32	27,3 %

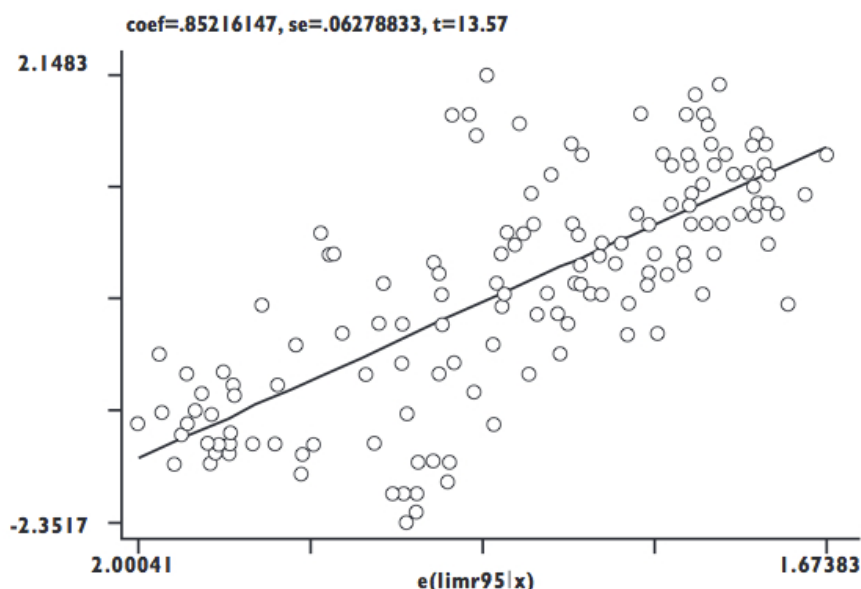
Tabellen viser at barnedødeligheten på verdensbasis har hatt en nedgang på 46,7%. Europa er nær ved å klare tusenårs målet på 2/3 nedgang. Derimot har Afrika kun en nedgang på 45,1%. Tabellen over nyfødtdødelighet og antall dødsfall/1000 fødsler viser at Afrika kun har en nedgang på 27,3%.

Det er klart at nyfødtdødeligheten bør være et fokusområde dersom det fjerde tusenårs målet til FN skal nås.

Tilgang på medisinsk utstyr anses som svært viktig for å få ned nyfødtdødeligheten. Kuvøser, respiratorer og annet medisinsk utstyr krever vedlikehold. Dårlig utviklet logistikk, mangel på reservedeler og nødvendig kompetanse er et problemområde. ^[4] IncubAid-kuvøsen kan i noen grad bidra til å bedre tilgangen til medisinsk utstyr. Spesielt gjelder dette for sykehus og samfunn med mindre økonomiske ressurser. Dette kan igjen være med på å redusere nyfødtdødeligheten.

Under arbeidet med denne oppgaven har kompetansepersoneer i Norge og utlandet blitt kontaktet. De har bekreftet at teknisk utstyr blir stående ubrukt i mangel på reservedeler og kompetent servicepersonell. På sykehuset i Jimma i Etiopia sto kuvøser ubrukt. Disse var ødelagt og det var mangel på kompetanse til å reparere. Fra sykehuset i Jimma har det blitt bekreftet at det er et behov for nye typer kuvøser. Dagens eksisterende kuvøser er for dyre, vanskelige å vedlikeholde og viser seg vanskelig å få tak i. En ny type kuvøse der lav pris, enkelt vedlikehold og god brukervennlighet vektlegges er en mangelvare. Behovet for en slik type kuvøse bekreftees.^[5, 6]

En skulle tro at nedsatt barne- og nyfødt dødelighet vil føre til økt befolkningsvekst på verdensbasis. Dette kan igjen føre til økte utfordringer i forhold til ressursknapphet, klimautfordringer og fattigdom. I en rapport fra 2001 produsert av "Kommissjonen for Makroøkonomi og Helse", vises det at økt spedbarnsdødelighet (barn som dør innen 1 år etter fødsel) gir økt befolkningsvekst. Dette vil si at ved å redusere spedbarnsdødeligheten vil også befolkningsveksten reduseres.^[7] Redusert spedbarnsdødelighet kan dermed ha en positiv effekt på ressursknapphet og klimautfordringer.



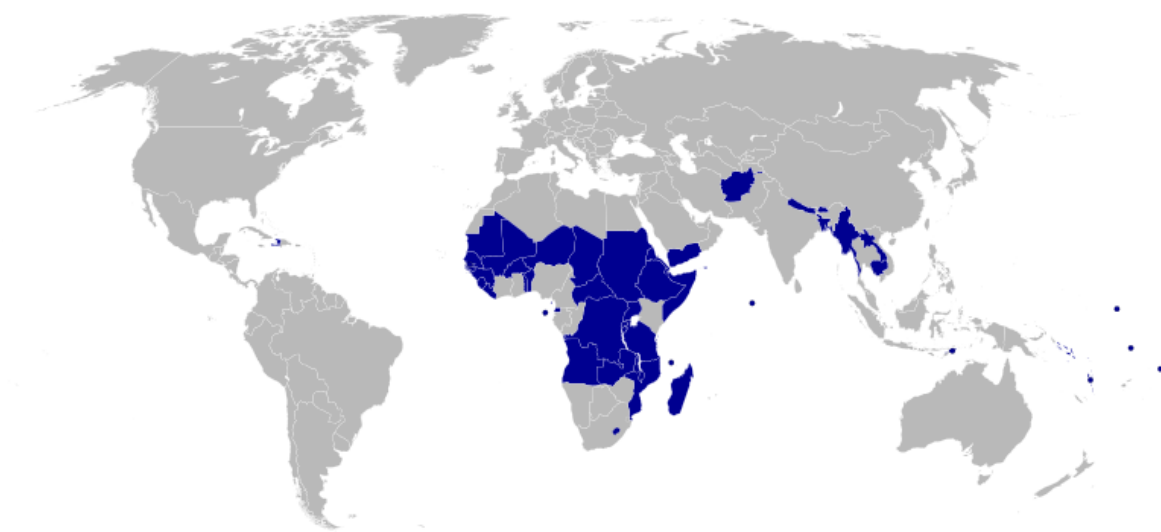
Figur 5: Grafen viser en logaritmisk lineær sammenheng mellom økt spedbarnsdødelighet og økt befolkningsvekst i 148 land i 1995.^[7]

De emosjonelle påkjenningene i forbindelse med dødsfall av nyfødte barn må være enorme for familien og kanskje spesielt for mor. Nedsatt nyfødt dødelighet vil spille en positiv rolle for de familiene som eventuelt ville blitt rammet av dødsfallet.

Premature barn påløper seg en større risiko for sykdommer og andre helseproblemer. Nedsatt syn og hørsel, skade på lunger, forsinket utvikling (fysisk og psykisk), hyperaktivitet, angst og depresjoner er noen av tilstandene som inntreffer hyppigere (i varierende grad) ved prematur fødsel. Dette igjen har stor effekt på de berørte familiene, både psykisk og økonomisk. Dette har også effekt på ressursbruk og økonomi i et lands helsevesens. Kuvøser og annet nyfødtmedisinsk utstyr kan spille en positiv rolle for det videre livet til det premature barnet, ved å senke sannsynligheten for vedvarende skade etter den premature fødselen.^[8]

1.2 Markedsbehov og potensiale

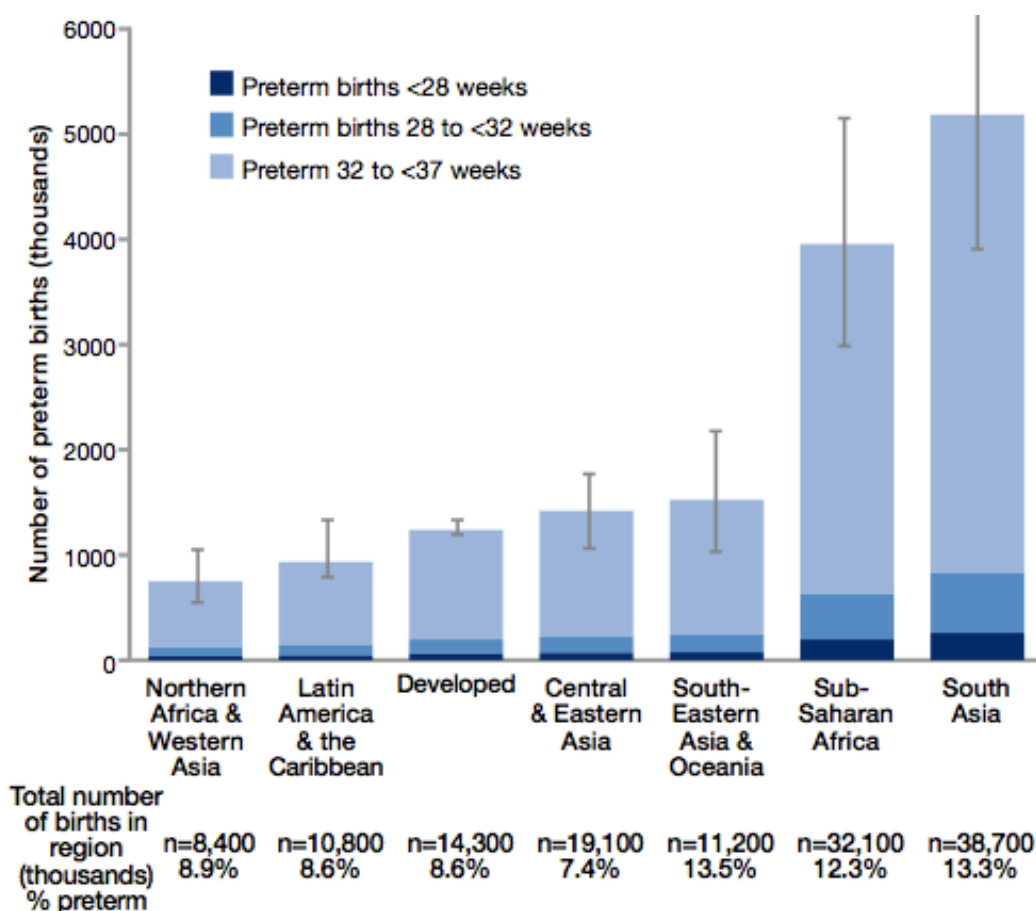
IncubAid-kuvøsen har et markedspotensial i de fleste av verdens land. I i-land vil kuvøsen kunne brukes som en del av et bistandsarbeid. I utviklingsland vil kuvøsen, grunnet sin lave pris, kunne kjøpes av sykehus med mindre økonomiske ressurser. Blant verdens utviklingsland er det spesielt i MUL-landene at IncubAid-kuvøsen har sitt største markedspotensial. MUL-land er en betegnelse FN bruker om verdens minst utviklede land. Disse landene har spesielt lav sosial og økonomisk utvikling og måles etter HDI (human development index). I dag står 48 land på FNs liste over MUL-land. Disse er i hovedsak plassert i Afrika sør for Sahara, Afghanistan, Nepal og andre land sør i Asia.^[9]



Figur 6: Kart over MUL-land (markert i blått)^[9]

Verdens Helseorganisasjon har utarbeidet et mål for de landene med høyest antall premature fødsler. Målet er halvering av antall premature fødsler innen 2025. I 2010 ble mer enn 1 av 10 barn født for tidlig. Dette tilsvarer omtrent 15 millioner premature fødsler verden over. Av disse døde over 1 million på grunn av den premature fødselen.^[8]

Sammenligning av Figur 6 og Figur 7 viser en klar sammenheng mellom høy HDI-indeks og høyt antall premature fødsler. Figur 7 viser antall premature fødsler fordelt på forskjellige regioner. Det sørlige Asia og Afrika sør for Sahara står også her for en meget stor del av antall premature fødsler verden over.



Figur 7: Illustrasjonen viser antall premature fødsler fordelt på forskjellige regioner. Hentet fra s.25 Born Too Soon rapporten.^[8]

For ekstremt premature barn (barn født tidligere enn uke 28) er det nødvendig med intensiv behandling for overlevelse. I den intensive behandlingen brukes blant annet kuvøser. De ekstremt premature fødslene utgjør rundt 5% av alle premature fødsler. Ifølge "Born Too Soon"- rapporten vil 75% av alle dødsfall på grunn av prematur fødsel kunne forhindres uten bruk av intensiv behandling. Hvorvidt de 75% vil pådra seg livsvarige helseproblemer som kunne vært forhindret ved bruk av kuvøse, sies det ikke noe om. Uansett vil de resterende 25% av alle dødsfall som følge av premature fødsler kunne vært forhindret med intensivbehandling og riktig medisinsk utstyr som kuvøser.^[8]

Det ligger mye penger i bistand. I 2013 ble det gitt 32,8 milliarder NOK i bistand fra Norge. 2,5 milliarder ble gitt til helse og sosial sektor. Av dette gikk 622,8 millioner til helse (generell).^[10]

For å få mest mulig ut av disse pengene, er det viktig med produkter som er tilpasset den gruppen de leveres til. Dette gjelder funksjonalitet og brukervennlighet. I tillegg vil rimeligere utstyr bety at flere enheter kan kjøpes, flere sykehus utstyres og flere barn hjelpes.

1.3 Problemstillinger

Dødelighet ved for tidlig fødsel rammer spesielt hardt i utviklingsland hvor kompetanse og helseinfrastruktur er dårlig utbygget, og man mangler midler til

avansert medisinsk utstyr for nyfødte. Mastergradsprosjektet bygger videre på et konseptutviklings-prosjekt for en enkel og rimelig kuvøseløsning for premature barn etter en originalidé av studentene Ø. Aa. Larsen & S. E. Finnøy, i emnet Tip300 høsten 2013^[1].

Grunnkonseptet fra forprosjektet skal tas videre med spesielt fokus på barnets behov med hensyn til optimering av øvre del av kuvøsekonseptet og kritiske miljø- og livsparametere. Eksterne ekspertiseråd innhentes så langt som mulig. Dette som grunnlag for en best mulig spesifisering av den øvrige kuvøseteknologien.

Problemstillinger:

- Begrense omfanget av kartlegging av det premature barnets fysiologi, og bestemme hva som viktigst å ta hensyn til.
- Validering av simuleringsresultater.
- Begrenset kapasitet på datamaskiner til å kjøre detaljerte simuleringer.
- Begrensede muligheter i programvare til å simulere et barn som avgir/opptar varme, fuktighet

2 Prosjektplan

2.1 Hovedmål

Prosjektet har følgende hovedmål:

"Å videreutvikle og optimere kuvøsekonseptet IncubAid og dens livsmiljø, design og tekniske funksjoner slik at dette gir økt sjanse for overlevelse for premature barn."

2.2 Delmål

Følgende delmål inngår i arbeidet med å oppfylle hovedmålsettingen for prosjektet:

- Premature barns fysiologiske behov skal kartlegges. Basert på dette skal IncubAid-kuvøsens funksjoner bestemmes.
- Eksisterende kuvøseres funksjon og teknologi skal kartlegges.
- Strømningssimuleringer skal brukes til å finne et optimalt design med hensyn til klima og miljøfaktorer omkring barnet og som grunnlag for krav til tekniske komponenter som skal bidra til riktig miljø og livsvilkår.
- Rapport utformes etter vanlige krav for mastergradsprosjekter. Rapporten skal være konfidensiell av hensyn til beskyttelse.

2.3 Arbeidsplan

Videre følger en arbeidsplan som viser hvordan prosjektet er lagt opp og i hvilken rekkefølge de forskjellige fasene av prosjektet har gjennomført.

Tabell 2: Fremdriftsplan

Fremdriftsplan																				
Uke	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Forberede og klargjøre kontrakt	■	■	■																	
Kartlegge oppgavens omfang			■																	
Informasjonsinnhenting																				
Om fortidligfødte			■	■	■	■	■													
Om eksisterende kuvøser							■	■												
Gjeldende standarder									■	■	■	■	■	■	■					
Engineering/design/strømningssimuleringer																				
Formanalyser								■	■											
Design trinn 1								■	■	■	■									
Simulering Trinn 1									■	■	■	■	■	■						

Tabell 2 fortsetter:

Uke	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Design trinn 2																				
Simulering trinn 2																				
Design trinn 3																				
Simulering trinn 3																				
Simulering trinn 4																				
Spesifisering av komponenter																				
Løsningsvalg og visualisering																				
Rapportskriving																				
Avslutning																				
Gjennomlesning																				
Korrektur																				
Printing																				
Levering Torsdag 15.Mai																				

2.4 Begrensninger

For å kunne begrense arbeidsomfanget innenfor de tidsrammer som er til rådighet er det nødvendig å gjøre følgende begrensninger:

- Tilføring av ekstra oksygen vil ikke bli simulert grunnet stor økning av kompleksitet i simuleringene.
- Økning av luftas relative luftfuktighet ved hjelp av en luftfuktermodul vil ikke bli simulert grunnet stor økning av kompleksitet i simuleringene.
- Barnets tilføring av varme og fuktighet til kuvøsemiljøet vil ikke bli kartlagt og simulert grunnet begrensninger i brukt programvare.
- Det vil ikke bli utført detaljdesign av kuvøsebunn, luftkanaler og åpninger, kun grovdesign for forskjellige løsninger/konsepter.
- Det vil ikke bli utført detaljdesign av gjennomføringer og tilkomstluker på kuvøsetoppen.
- Det vil ikke bli spesifisert ytelse på komponenter utover vifte og varmelement.

3 Terminologi og metodebeskrivelse

3.1 Begreper

Hypotermi: Nedsatt kroppstemperatur.^[11]

Hypoksemi: Lavt oksygeninnhold i blodet. Kan føre til hypoksi.^[12]

Hypoksi: Generell oksygenmangel som kan føre til skade på organer og død.^[13]

Antistoff: Proteiner som dannes i kroppen for å reagere med skadelige fremmedstoffer. Omtales ofte som immunglobuliner.^[14]

Gestasjonsalder: Tid siden unnfangelse.^[15]

Alder: Tid siden fødsel.

Overtrykksventilasjon: Vanligste formen for kunstige åndedrag. Forskjellige metoder som for eksempel kontinuerlig positivt trykk ventilasjon (CPAP) og positivt ende-ekspiratorisk trykk (PEEP).^[16]

Prematuritetsretinopati (ROP): En alvorlig netthinnesykdom som utvikles hos premature barn. Risikoen for utvikling av ROP er større jo lavere fødselsvekten er.^[17]

Spesifikk varmekapasitet: Hvor mye energi som er nødvendig for å øke temperaturen på en bestemt mengde av materialet.^[18]

Termisk konduktivitet: Materialets evne til å lede varme. ^[18]

Relativ fuktighet: Luftas faktiske fuktighet i forhold til luftas maksimalt mulige luftfuktighet. Oppgis ofte i prosent.^[18]

Mettet luft: Lufta er mettet med fuktighet, den relative fuktigheten er 100%. Mer tilsatt fuktighet vil kondensere.^[18]

CO₂ : Karbondioksid

3.2 Symboler og enheter

Tabell 3: Tabell med tekniske symboler, betydning og SI-enhet

Symbol	Betydning	SI-enhet
T	Temperatur	K (Kelvin)
P	Effekt	W (watt)
ω	Rotasjonshastighet	rad/s
v	Hastighet	m/s
Q	Volumstrøm	m ³ /s
ρ	Massetetthet	kg/m ³
K	Termisk konduktivitet	W/(m x K)
C	Spesifikk varmekapasitet	J/(kg x K)

Tabell 4: Tabell med brukte benevninger og forkortelser

Symbol	Betydning	Benevning
°C	Grader celsius	0 °C = 273,15 K
GA	Gestasjonsalder	Uker/dager
Q	Volumstrøm	l/min

3.3 Formelbruk

Tabell 5: Formeltabell:

Betydning	Formeluttrykk	Nummerindeksing
Lungeventilasjon	Tidalvolum x resp.frekvens	5.1
Formler brukt i teorisammenheng kap 4		4.1 – 4.19

3.4 Verktøy

SolidWorks Flow Simulation

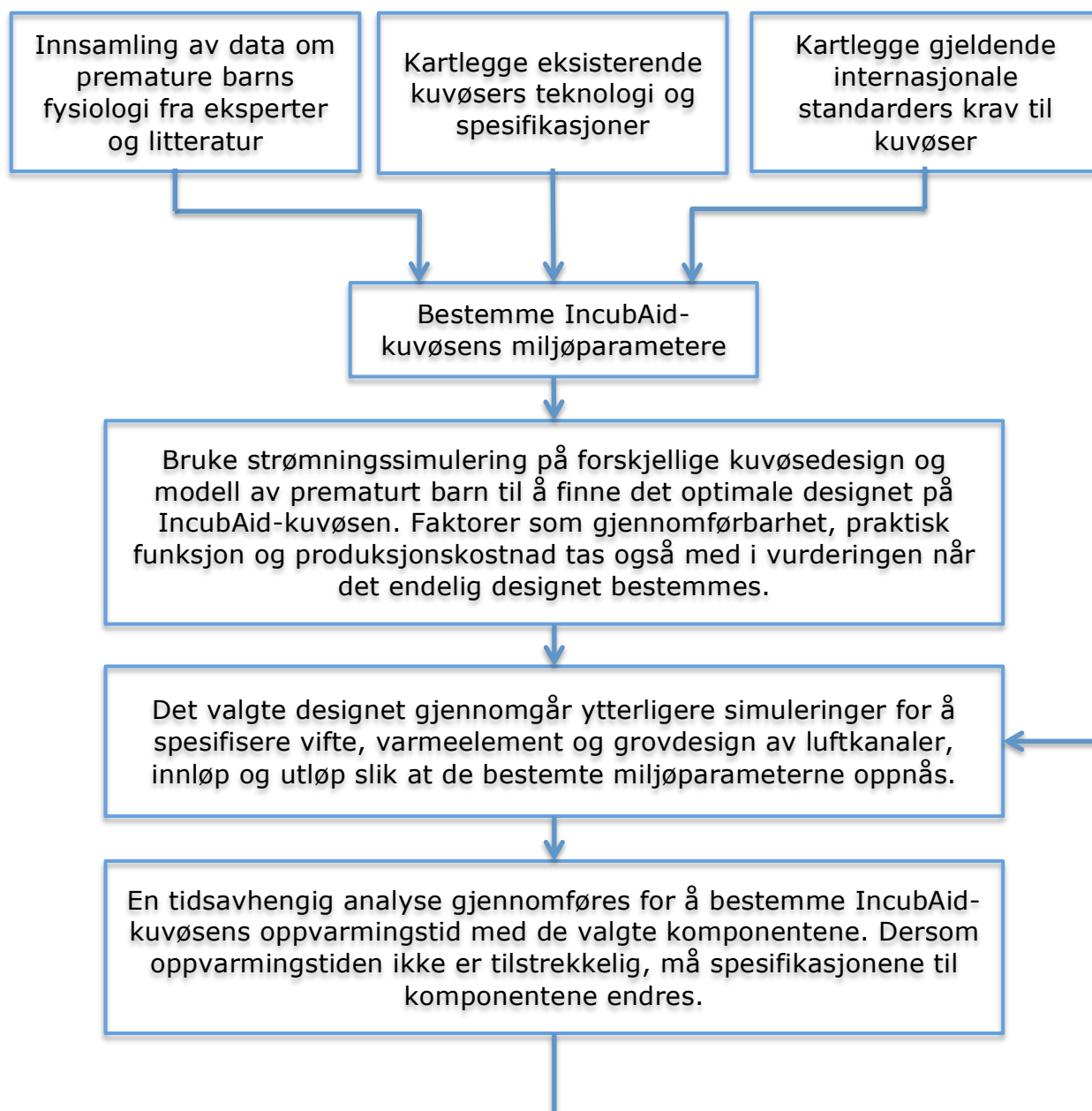
SolidWorks er et 3D CAD-program (Computer Aided Design) levert av Dassault Systèmes. I denne rapporten er alle 3D-modeller av kuvøsen og andre komponenter er produsert i SolidWorks.

SolidWorks har en innebygget modul for strømnings simuleringer, Flow Simulation. Dette er en CFD (computational fluid dynamics) modul som bruker numeriske beregninger til å løse fluid- og termodynamiske problemstillinger. Flow Simulation bruker FVM (finite volume method), der partielle differensiallikninger brukes på små volumelementer til å løse de termodynamiske og fluidmekaniske problemstillingene. [19, 20]

3.5 Prosesstrinn

- Innsamling av data om premature barns behov og fysiologi fra eksperter og litteratur.
- Kartlegge konkurrerende løsninger og eksisterende kuvøses teknologi og spesifikasjoner.
- Kartlegge gjeldene standarder for kuvøser.

- Informasjonen fra de tre overnevnte punktene brukes sammen for å bestemme IncubAid-kuvøsens miljøparametere.
- Strømningssimuleringer utføres på forskjellige kuvøsedesign for å finne det optimale designet. Ved hjelp av simuleringene kartlegges krav til tekniske komponenter. Basert på dette velges de tekniske komponentene og en fullverdig kuvøseløsning presenteres med produksjonsmetode og kostnads-vurdering.



Figur 8: Prosesskartet viser prosesstrinn, rekkefølger og sammenhenger

4 Grunnlagsteori

Strømningssimuleringer (Computational Fluid Dynamics) bygger på teorier innenfor fluidmekanikk og termodynamikk.

Termodynamikk

Termodynamikk kalles også varmelære og omhandler sammenhengene mellom varme, energi og arbeid. Termodynamikken bygger på den fundamentale fysiske loven om bevaring av energi. Gjennom en prosess kan energien endre form, men ikke forsvinne eller oppstå. Den totale energimengden er konstant. Termodynamikken har to hovedsetninger:

Termodynamikkens første lov omhandler nettopp prinsippet om konservering av energi.

Energiforandringer i et system

Energiforandringen i et system er endringen i energien fra start til slutt i prosessen:

$$\Delta E_{system} = E_{final} - E_{initial} = E_2 - E_1 \quad (4.1)$$

Det finnes mange former for energi; kinetisk, potensiell, indre, magnetisk og elektrisk. For systemer der den elektriske og magnetiske energien ikke er tilstede kan endringen i energi skrives som endringen i indre, kinetisk og potensiell energi:

$$\Delta E = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \quad (4.2)$$

$$, \text{ hvor } \Delta U = m(u_2 - u_1) \quad , \text{ endring indre energi} \quad (4.3)$$

$$\Delta KE = \frac{1}{2}m(V_2^2 - V_1^2) \quad , \text{ endring kinetisk energi} \quad (4.4)$$

$$\Delta PE = mg(z_2 - z_1) \quad , \text{ endring potensiell energi} \quad (4.5)$$

IncubAid-kuvøsen kan anses som et stasjonært system. I stasjonære systemer er:

$$\Delta KE = \Delta PE = 0 \quad (4.6)$$

$$\Delta E = \Delta U \quad (4.7)$$

Energitransport

Varmeoverføring: Q

Arbeid: W

Massestrøm: m

$$E_{in} - E_{out} = (Q_{in} - Q_{out}) + (W_{in} - W_{out}) + (E_{mass,in} - E_{mass,out}) = \Delta E_{system} \quad (4.8)$$

For simuleringer av IncubAid-kuvøsen med vifte og varmeelement vil alle disse energioverføringene finne sted. Kuvøsen er ikke et lukket system og varmeelementet

tilfører varme (Q), vifta utfører et arbeid (W) og luft strømmer inn og ut av kuvøsen (E_{mass}).

Kuvøsen kan anses som et kontrollvolum med massestrøm inn og massestrøm ut. Energitransport i kuvøsen som et stasjonært system:

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} = 0 \quad (4.9)$$

$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out} \quad (4.10)$$

$$\dot{W}_{e,in} + \dot{m}h_1 = \dot{Q}_{out} + \dot{m}h_2 \quad (4.11)$$

$$\dot{W}_{e,in} - \dot{Q}_{out} = \dot{m}h_2 - \dot{m}h_1 = \dot{m}C_p(T_2 - T_1) \quad (4.12)$$

Ideell gasslov:

$$PV = mRT \quad (4.13)$$

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} \quad (4.14)$$

Termodynamikkens andre lov:

Omhandler irreversibel energiendring. Arbeid kan overføres til varme, mens varme ikke nødvendigvis overføres til arbeid.^[18]

Fluidmekanikk

Volumstrøm er volummengden som passerer et tverrsnitt i et system pr tidsenhet. Volumstrømmen beregnes ved å multiplisere tverrsnittsarealet med fluidets strømningshastighet gjennom tverrsnittsarealet:^[21]

$$Q_v = \frac{V}{t} = v \times A \quad (4.15)$$

Massestrøm er mengden masse som passerer et tverrsnitt i et system pr tidsenhet.

$$Q_m = \frac{m}{t} = \rho \times v \times A \quad (4.16)$$

Bernoullis ligning omhandler energibevaring i væsker og gasser. På enkleste form beskriver Bernoullis ligning at summen av den potensielle-, kinetiske- og trykk-energien på to forskjellige steder innen samme avgrensede område, er konstant^[22]:

$$E_1 = E_2 \quad (4.17)$$

$$E_{pot1} + E_{kin1} + E_{trykk1} = E_{pot2} + E_{kin2} + E_{trykk2} \quad (4.18)$$

Strømningstyper

To typer strømningstyper, laminær og turbulent. Strømningstypen avhenger av Reynoldstallet som regnes ut med følgende formel^[22]:

$$Re = \frac{v \times D}{\nu} \quad (4.19)$$

Der v er strømningshastigheten, D er den hydrauliske radiusen og ν er den kinematiske viskositeten. Reynoldstall under 2300 betyr laminær strømning, mens reynoldstall over 4000 betyr turbulent strømning. Området mellom 2300 og 4000 er et overgangsområde der begge strømningstypene kan opptre.

Den hydrauliske radiusen og strømningshastigheten kan reguleres for å oppnå ønsket strømningstype.

Utfyllende informasjon om grunnlagsteorien for SolidWorks Flow Simulation finnes i Solid-Works Flow Simulation Technical reference Document.^[23]

5 Kunnskapsstatus og beskrivelser

5.1 Det premature barnets behov

Premature barn er barn som er født i uke 36 eller tidligere. Det er flere grader av prematuritet. Lett premature barn er født i uke 32-36. Moderat premature barn er født i uke 28-31, mens ekstremt premature barn er født før uke 28. Hvilken uke barnet er født i har stor betydning for barnets fysiologi og hvilke behov det har. Generelt har premature barn lite brunt fettvev og tynn hud. Dette gjør at de taper mye varme gjennom huden. De har også liten evne til å produsere varme og regulere temperaturen. Hypotermi er en stor risikofaktor for sykdom og død.

Premature barn består av rundt 80% vann. Dette avhenger av gestasjonsalder. På grunn av den tynne huden taper barnet mye væske gjennom huden, spesielt i første leveuke. Jo lavere gestasjonsalder jo mer utsatt er barnet for væsketap gjennom huden.

Premature barn er også meget utsatt for infeksjoner. De har et dårlig utviklet immunforsvar. Barnet produserer ikke tilstrekkelig mengde antistoffer fordi immunforsvaret er umodent og fordi barnet ikke har fått nok antistoffer fra mor via morkaken. Dette kommer først etter 32-34 uker gestasjonsalder(GA). Selve kuvøsebehandlingen utgjør en infeksjonsrisiko i seg selv. Respiratorbehandling med tube i luftveiene kan gi lungebetennelse. En infeksjon kan i utgangspunktet ha utløst den tidlige fødselen av barnet, og barnet vil i dette tilfellet bli født med en infeksjon. Som regel kan disse bakterieinfeksjonene kureres med antibiotika. ^[15, 24]

Størrelser

Barnets størrelse avhenger av gestasjonsalderen. Det er også individuelle forskjeller i størrelse på barn med lik gestasjonsalder. Tabellen under viser gjennomsnittlig lengde og vekt for premature barn fra med gestasjonsalder fra 24 til 40 uker:

Tabell 6: Tabellen viser premature barns dimensjoner ved forskjellige gestasjonsaldere^[25].

Gestasjonsalder [uker]	Vekt [kg]	Lengde [cm]	Hodets omkrets [cm]	Hodets diameter[cm]
40	3.6	51	35.5	11,3
35	2.5	46	32	10,2
32	1.9	43	30	9,6
28	1.15	38	26	8,3
24	0.65	32	22	7,0

Barnets hudoverflateareal vil ha en innvirkning på barnets temperaturregulering og væskebalanse. Større hudoverflateareal gir større fordampning av væske. Dette fører igjen til nedsatt kroppstemperatur. Den fordampede væsken påvirker også miljøet inne kuvøsen.

Barnets behov

Temperatur ^[17]

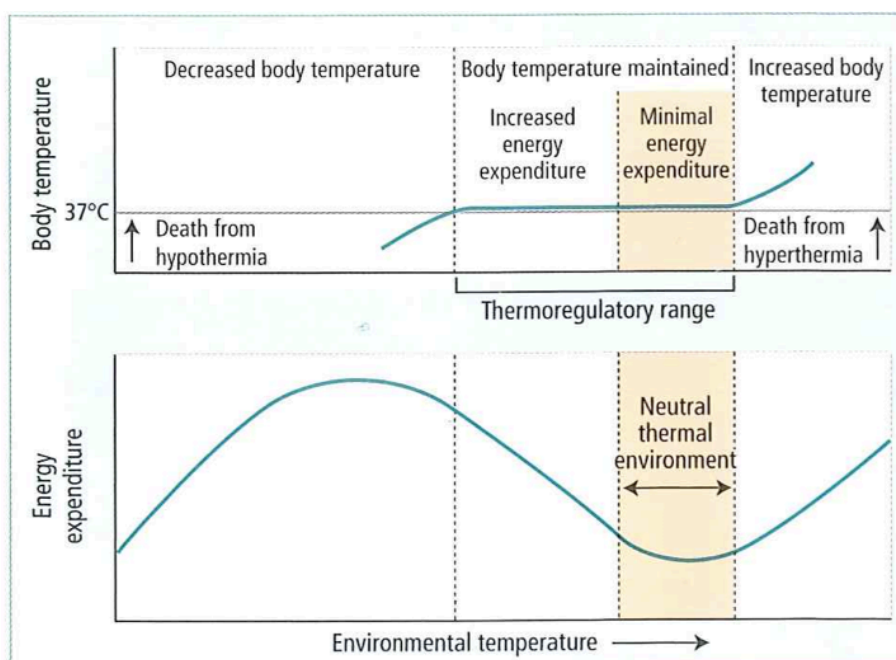
Temperaturregulering er fundamentalt i pleie av premature barn. Premature barn er spesielt utsatt for hypotermi. Det er mange årsaker til dette, blant annet har barna uforholdsmessig mye hudoverflate (varmetap) i forhold til kroppsvekt (varme-generering). Hypotermi kan føre til en rekke komplikasjoner:

- Økt oksygen- og energiforbruk som igjen kan føre til hypoksi, metabolsk acidose og hypoglykemi.
- Apné.
- Neonatal influensa.
- Manglende vektøkning.
- Økt dødelighet.

Barnet taper varme på flere måter:

- Konveksjon: Varmetap til luftstrømmer.
- Stråling: Varmetap via elektromagnetiske bølger fra hud til omkringliggende - overflater.
- Fordamping: Varmetap ved fordampende væske på hudoverflate.
- Konduksjon: Varmetap ved direkte kontakt mellom barnets hud og andre overflater barnet berører.

Premature barn bør ligge i et termisk nøytralt miljø; et miljø der barnet bruker minimalt med energi på å opprettholde en kjerne-temperatur på 37 grader celsius.



Figur 9: Termisk nøytralt miljø: Korrekt omgivelsestemperatur er nødvendig for å oppnå et termisk nøytralt miljø. I et termisk nøytralt miljø brukes minimalt med energi for å opprettholde en kroppstemperatur på 37 °C. Figuren er hentet fra *Neonatology at a glance*^[17].

Hva som er et termisk nøytralt miljø for barnet avhenger av vekt og alder. For de fem første levedøgnene er kan følgende tabell benyttes for å finne den temperaturen som gir et termisk nøytralt miljø:

Tabell 7: Tabellen viser termisk nøytralt miljø for premature barn med forskjellig alder (0-4 dager) og fødselsvekt^[26].

Alder[timer]	1 - 1,2 kg +/- 0,5 °C [°C]	1,2 - 1,5 kg +/- 0,5 °C [°C]	1,5 - 2,5 kg +/- 1,0 °C [°C]	>2,5 kg >36uker GA [°C]
0-12	35,0	34	33,3	32,8
12-24	34,5	33,8	32,8	32,4
24-96	34,4	33,5	32,3	32,0

For barn med en alder på mellom 5 døgn og 6 uker kan følgende tabell benyttes:

Tabell 8: Tabellen viser termisk nøytralt miljø for premature barn med forskjellig alder (5 - 42 dager) og fødselsvekt^[26].

Alder	<1,5 kg [°C]	1,5 - 2,5 kg [°C]	>2,5 kg og >36/40 uker GA [°C]
5-14 dager	33,5	32,1	32,0
2-3 uker	33,1	31,7	30,0
3-4 uker	32,6	31,4	
4-5 uker	32,0	30,9	
5-6 uker	31,4	30,4	

Tabellene viser kun temperaturangivelse for moderat premature og lett premature barn. Tabellen viser at lavere vekt på barnet gjør at det er nødvendig med høyere temperatur for å oppnå termisk nøytralt miljø. Dette sammenfaller også bra med fysiologiteorien. Ekstremt premature barn (GA < 28 uker) vil kreve høyere temperatur enn det som er angitt i tabellene.

Oksygen

Oksygen er livsviktig for alle mennesker og inngår i mange kjemiske reaksjoner i kroppen. Oksygenmetningen i blodet hos barn bør ligge på mellom 88 og 93%^[15].

Oksygenivåer i blodet beskrives på mange forskjellige måter:

- PO₂: Oksygentrykket i blodet.
- SO₂: Oksygenmetningen i blodet, oppgis ofte i prosent.

Oksygentrykket og oksygenspenningen måles ofte i arterieblodet (som går fra hjertet til organer) og får da en a i benevnelsen (PaO₂, SaO₂).

Noen barn vil ha behov for ekstra tilført oksygen for å unngå hypoksemi, som kan føre til skader på hjerne og andre organer. Mange fortidligfødte barn vil også ha behov for respirator eller overtrykksventilasjon for å unngå hypoksemi.^[17] FiO₂ (Fraction of Inspired Oxygen), sier hvor mye oksygen det er i luften. Luft uten ekstra tilsatt oksygen har 21% oksygen, altså FiO₂ lik 0,21. Luft med ekstra tilført oksygen vil ha FiO₂>0,21.^[27]

Respiratorisk distress-syndrom (RDS) er pusteproblemer som skyldes ufullstendig utvikling av lunger hos premature barn. RDS behandles med økt oksygentilførsel og eventuelt pustehjelpemidler som respirator eller overtrykksventilasjon.^[15]

For høy oksygenmetning er heller ikke gunstig, da dette kan øke faren for netthinnesykdommen prematuritetsretinopati (ROP) og lungeskader.^[17]

Anbefalte verdier for oksygenmetningen i blodet for premature barn varierer noe. Dette skyldes farene forbundet med for høye verdier og usikkerhet rundt disse verdiene. For premature barn anbefales det en oksygenmetning (SaO₂) og oksygentrykk (PaO₂) i blodet på henholdsvis 90-95% og 6-10.5 kPa.^[17] (88-93% og 6-9 kPa)^[15]

Ventilasjon

Lungeventilasjonen sier hvor mye barnet puster per tidsenhet. Lungeventilasjonen kan regnes ut ved å multiplisere tidalvolumet med respirasjonsfrekvensen. Tidalvolumet er det luftvolumet som pustes inn og ut på et pust. Respirasjonsfrekvensen er antall pust per tidsenhet.^[28]

For nyfødte ligger respirasjonsfrekvensen ofte mellom 30-60 pust pr minutt, mens tidalvolumet kan ligge mellom 6-10 ml/kg.^[29]

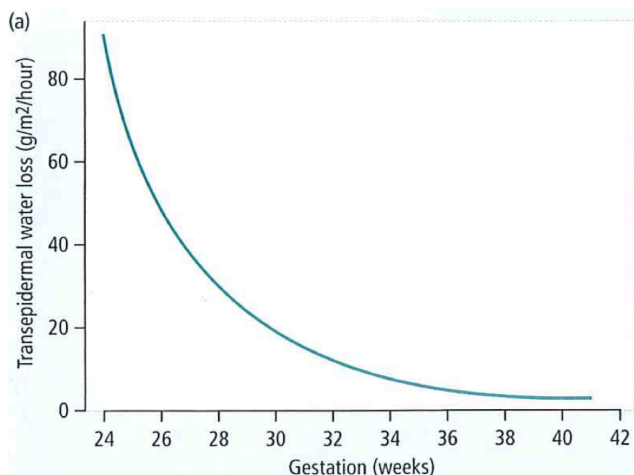
Utregnet maksimal lungeventilasjon (V_e) for et barn med vekt 3,6 kg (GA 40 uker) blir da:

$$V_e = 60 \frac{\text{min}}{\text{min}} \times 10 \frac{\text{ml}}{\text{kg}} \times 3,6 \text{kg} = 2160 \frac{\text{ml}}{\text{min}} = 2,16 \frac{\text{L}}{\text{min}} \quad (5.1)$$

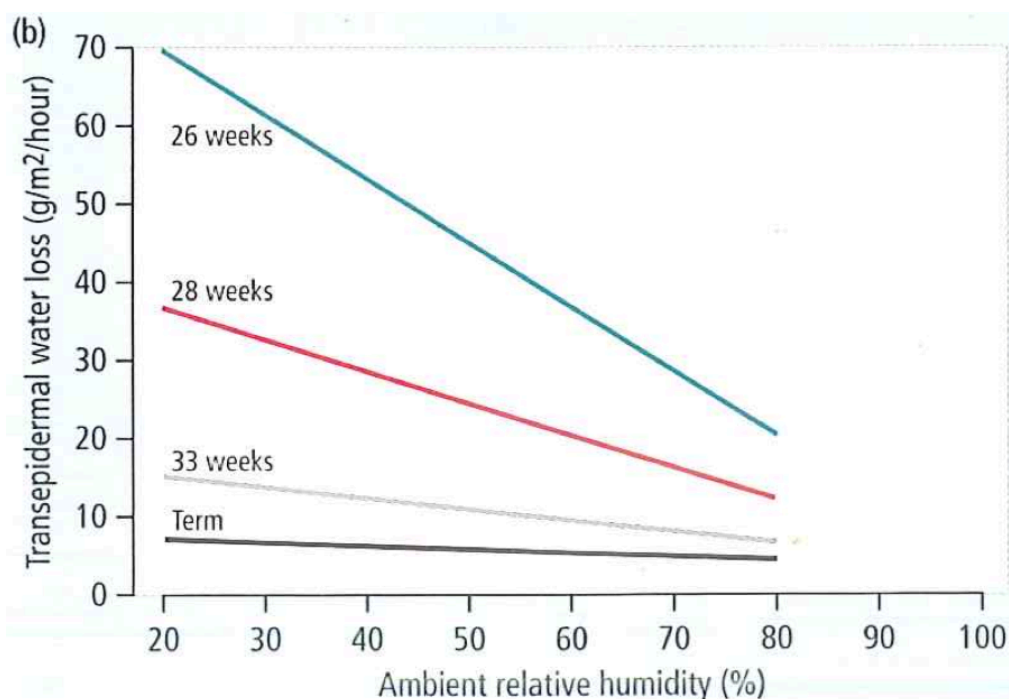
Kuvøsen bør levere minst 2,16 liter frisk luft per minutt for at det ikke skal bygge seg opp for mye CO₂ (karbondioksid) og andre avfallsstoffer i luften.

Luftfuktighet

Premature barn har en høy grad av væsketap blant annet grunnet tynn hud. Dette avtar med levealder ettersom tykkelsen på huden øker. Høy luftfuktighet har en positiv effekt for utviklingen til barnet, da dette hjelper til med å opprettholde væskebalansen. Væske som fordamper fra barnets hud fører til nedsatt temperatur.^[17]



Figur 10: Sammenheng mellom vanntap og gestasjonsalder. Grafen viser hvordan vanntapet avtar (nesten eksponentielt) med økende gestasjonsalder.^[17]



Figur 11: Sammenheng mellom vanntap og omgivelsenes relative fuktighet.^[17]

Høy luftfuktighet brukes også ved behandling av RDS hos premature barn.^[30]

Vanlig praksis for justering av luftfuktighet inne i kuvøsen er:

Tabell 9: Anbefalte verdier for luftfuktighet for premature barn. Tabellen er basert på tall fra en klinisk retningslinje.^[31]

Gestasjonsalder[uke]	Uke 1	Uke2	Uke3-7
<25	85%	50%	50%
25-30	85%	50%	Ikke nødvendig
>30	Ingen fukting av luft nødvendig		

Isolasjon

Premature barn er spesielt utsatt for infeksjoner og smitte grunnet dårlig utviklet immunforsvar.^[17] Kuvøsen må derfor bidra til å isolere barnet fra smittekilder.

Støy og høyt lydnivå kan ha en negativ effekt på barnets vekst og utvikling. Det kan også føre til skade på sneglehuset i øret. Lydnivåer over 45 dB ansett som bekymringsverdige. Barnet bør altså ligge i et miljø med et lydnivå under 45dB.^[32]

Luftstrømningshastighet

Det premature barnet bør ikke utsettes for høye luftstrømningshastigheter. Ved hastigheter >0,2 m/s øker den nødvendige temperaturen som gir termisk nøytralt miljø.^[33]

5.2 Eksisterende løsninger

En kuvøse skal gi gode og trygge vekstvilkår for det premature barnet. Dette gjøres ved å tilføre luft som er tilpasset barnets behov. Luften er gjerne oppvarmet, fuktet og tilsatt oksygen dersom barnet har behov for det. Kuvøsen er et isolert miljø som til dels skjermes det premature barnet fra omgivelsene.

Det finnes en rekke produsenter av høyteknologiske kuvøser. GE Healthcare, Dräger Medical, Ginevri og Atom medical er velkjente og store firmaer innenfor medisinsk teknologi og produsenter av høyteknologiske kuvøser. Det ligger mye forskning og samarbeid med kunder (sykehus, eksperter på medisin) i utvikling av disse kuvøsene. Det er derfor ønskelig at IncubAid-kuvøsen skal ha mye av de samme spesifikasjonene og miljøparametere som disse høyteknologiske kuvøsene.

Videre følger en tabell som sammenfatter aktuelle spesifikasjoner hos ulike eksisterende høyteknologiske kuvøser:

Tabell 10: Egenprodusert tabell som sammenfatter spesifikasjonene til et utvalg av eksisterende kuvøser. Tabellen er basert på databladene til de forskjellige kuvøsene^[34]:

Kuvøse	Dräger Isolette 2000	Dräger Caleo	Atom medical Rabeo Incu i	GE Healthcare Giraffe	Ginevri Polytrend
Temperatur luft [°C]	20-39	20-39	23-37	20-39	20-39
Temperatur Hud [°C]	34-38	34-38	34-38	35-38	25-37
Temperatur variasjon [°C]	<0,5	Ikke oppgitt	Ikke oppgitt	<krav i IEC-standarden	Ikke oppgitt
Temperatur oversving [°C]	<0,5	Ikke oppgitt	Ikke oppgitt	<krav i IEC-standarden	Ikke oppgitt
Oppvarmings tid	Ikke oppgitt	20-31°C 20 min ved 20°C	Ikke oppgitt	<krav i IEC-standarden	Ikke oppgitt
Luft-fuktighet [%]	30-95	30-99	40-95	30-95	15-95
Oksygen kontroll [%]	21-65	Ikke oppgitt	Ikke oppgitt	<65	21-65

Tabell 10 fortsetter:

Kuvøse	Dräger Isolette 2000	Dräger Caleo	Atom medical Rabeo Incu i	GE Healthcare Giraffe	Ginevri Polytrend
Lufthastighet [m/s]	0,1	0,08	0,1	<0,1	Ikke oppgitt
Ventilasjon [L/m]	Ikke oppgitt	30	Ikke oppgitt	Ikke oppgitt	Ikke oppgitt
Filtreringsgrad [%]	99,9	Ikke oppgitt	Ikke oppgitt	Ikke oppgitt	Ikke oppgitt
Lyd/støy [dB]	<49	<50	44	<50	<60
Vekt [kg]	95,5	Ikke oppgitt	90/50	138	32
Geometriske mål madrass (rundt barnet) [mm]	737 x 381 x 412	Ikke oppgitt	650 x 365 x 410	660 x 480 x ikke oppgitt	600 x 350 x 450
Utvendig geometriske mål [mm]	1206 x 750 x 1400	Ikke oppgitt	1000 x 600 x 1480	Høyde:1470-1770	810 x 620 x 690
Tilkomsåpninger	6 + kabelgjennomføringer	Ikke oppgitt	Ikke oppgitt	5 + kabelgjennomføringer	6 + gjennomføringer
Materiale	Ikke oppgitt	Ikke oppgitt	Ikke oppgitt	Ikke oppgitt	Poly-carbonate

Fra tabellene kommer det tydelig frem hvilke spesifikasjoner de forskjellige produsentene har valgt for sine kuvøser. Spesifikasjonene for de ulike kuvøsene varierer noe, men i relativt liten grad. Det er tydelig hvilke miljøparametere og verdier kuvøseprodusentene har valgt. Når det gjelder priser på kuvøsene er disse vanskelig å oppdrive, det er ikke noe som ligger tilgjengelig for offentligheten. Etter samtaler med forskjellige kuvøseimportører i Norge har følgende priser blitt oppdrevet:

- GE Healthcare Giraffe (beskrevet i Tabell 10): NOK 150000 – 200000^[35]. Prisen varierer avhengig av valgt utstyr.
- Atom Medical Dual Incu I: NOK 250 000^[36]. Dette er en kuvøseløsning inkludert varmelampe (strålevarme som brukes ved operasjoner der kuvøsetoppen åpnes helt). Dette fordyrer produktet noe, så denne prisen er noe høyere sammenlignet med priser på kuvøser uten varmelampe. Prisen kan for øvrig variere avhengig av valg av utstyrspakker.

5.3 Standarder

International Electrotechnical Commission (IEC) har utformet en serie med standarder under koden IEC 60601. IEC 60601-standardene omfatter sikkerhet og ytelse for medisinsk elektrisk utstyr.^[37] Standarden IEC 60601-2-19 omfatter sikkerhet og ytelse for kuvøser^[38]. I Norge er det Norsk elektroteknisk (NEK) komite som distribuerer denne standarden under navnet NEK IEC 60601-2-19. NEK er det norske medlemsorganet i IEC.

Mange av dagens konvensjonelle kuvøser er designet etter og tilfredsstillende kravene i IEC 60601-2-19.^[34]

Videre følger et sammendrag av de kravene IEC-standardene stiller og som dreier seg om luften og kuvøsemiljøet:^[34]

NEK IEC 60601-2-19

Utgave 2,0,2009

Medical electrical equipment

Part 2-19: "Particular requirements for the basic safety and essential performance of infant incubators"

Standarden benytter følgende uttrykk for å definere grad av viktighet:

- Skal ("shall"): Dette må følges dersom produktet skal være i henhold til standarden.
- Burde ("should"): Dette beskriver forhold som burde følges, men dette er ikke strengt nødvendig for at produktet skal være i henhold til standarden.
- Kan ("may"): Dette brukes til å beskrive tillatt fremgangsmåte for å oppnå samsvar med et krav.

Standarden definerer det premature barnet som en pasient med opptil 3 måneders alder og opptil 10kg vekt.

Temperaturstabilitet

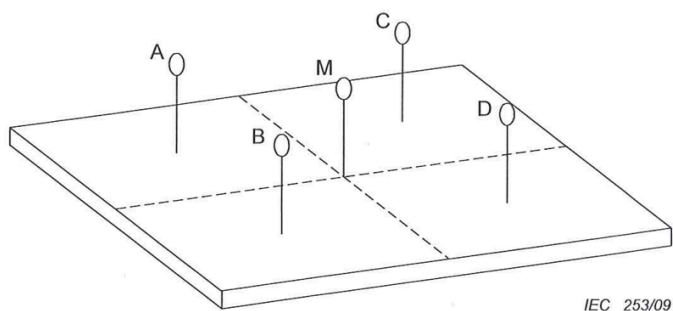
Under normal drift (ikke oppstartsfasen/oppvarmingsfasen) skal gjennomsnittstemperaturen i kuvøsen ikke variere med mer en 0,5 °C.

Overholdelse av dette kravet testes ved at kuvøsen holder temperaturer på 32 °C og 36 °C i en time.

Jevnt fordelt temperatur

Gjennomsnittstemperaturen ved målepunkter a, b, c og d skal ikke avvike med mer en 0,8 °C fra kuvøsens gjennomsnittstemperatur.

Overholdelse av dette kravet testes ved at kuvøsen holder temperaturer på 32 °C og 36 °C i en time. Kuvøsens gjennomsnittstemperatur måles ved punkt m.



Figur 12: Standardens spesifiserte målepunkter for kontroll av temperatur og strømningshastighet. Punktet fem punktene ligger i en høyde på 10 cm over madrassen. Punktet M er plassert i madrassens midtpunkt. De fire punktene A, B, C og D er plassert i midtpunktet av hver av madrassens kvadranter.

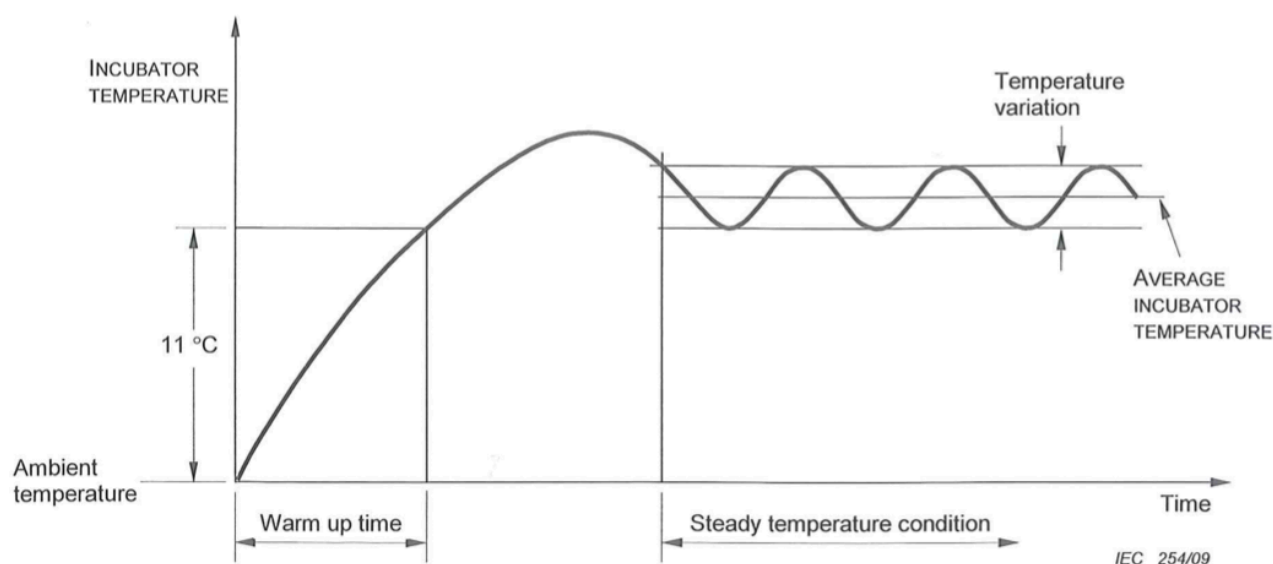
Oppvarmingstid

Generell oppvarmingstid er ikke spesifisert. Det er dog et krav om at oppvarming fra 32 °C til 36 °C skal gjøres på 15 minutter.

Temperaturoversving

Ved justering av kuvøsens temperatur skal ikke temperatur oversvinge med mer enn 2 °C.

Overholdelse av dette kravet testes ved at kuvøsens temperatur er justert til 32 °C og holder denne temperaturen jevnt. Deretter oppjusteres kuvøsens temperatur til 36 °C. Oppvarmingstiden og oversvingningen måles.



Figur 13: Figuren viser oppvarmingstid, oppvarmingstemperatur og temperaturvariasjoner. Figuren er hentet fra IEC 60601-2-19 s.10.

Lufthastighet

Under normal bruk skal ikke lufthastigheten over madrassen overskrive 0,35 m/s. Overholdelse av dette kravet testes ved at lufthastigheten måles ved de 5 punktene A, B, C, D og E (se Figur 12).

CO₂ konsentrasjoner

Maksimal CO₂ konsentrasjonsverdier skal formidles.

CO₂-konsentrasjonene testes ved å tilføre en blanding av CO₂ (4%) og luft. Blandingen skal tilføres gjennom et rør med 8mm diameter. Røret skal peke vertikalt rett opp. Rørets åpning skal være 10 cm over punkt m. Volumstrømmen ut av røret skal være 0,75 l/min. CO₂-konsentrasjonene i kuvøsen måles så 15 cm over punkt m. Målingene skal vise en konsentrasjon av CO₂ på mindre eller lik det som blir formidlet som maksimal CO₂-konsentrasjon for kuvøsen.

Temperatur kuvøsedeler

Overflatetemperaturen til de delene av kuvøsen som er ment for å være i kontakt med barnet skal ikke overskride 40 °C.

Indikasjon relativ fuktighet

Indikert verdi for relativ fuktighet skal ikke avvike med mer en ± 10% fra faktisk målt verdi.

Overholdelse av krav testes med måleutstyr for luftfuktighet som plasseres midt i kuvøsen. Kuvøsen skal da holde en temperatur på mellom 32 °C og 36 °C.

Lydnivå

Lydnivået inne i kuvøsen skal ikke overskride 60 dB A.

5.4 Ønskede miljøparametere

Kartlegging av premature barns fysiologi, kartlegging av egenskaper og spesifikasjoner til eksisterende kuvøser samt kartlegging av IEC-standardens krav skal videre brukes til å definere de ønskede miljøparametere og spesifikasjonene til IncubAid-kuvøsen. Disse miljøparametere skal bidra til gode og trygge vekstvilkår og økt sjanse for overlevelse for det premature barnet.

Dimensjoner på område rundt barnet

Det premature barnets lengde avhenger av gestasjonsalder. Kuvøsens størrelse må være slik at alle premature barn får plass. Det må også beregnes plass til at personell skal arbeide med barnet. I tillegg må det være plass til ekstrautstyr (respiratormaske og lignende).

Barn med 24 ukers gestasjonsalder har en gjennomsnittlig lengde på 32 cm mens barn med 40 ukers gestasjonsalder har en gjennomsnittlig lengde på 51 cm. De fleste

premature barn som blir brukere av kuvøsen vil ligge mellom dette. Noen barn som vil trenge kuvøsebehandling kan være lengre enn 50cm og IEC-standarden krever at barn opptil 3mnd alder skal kunne bruke kuvøsen. Kuvøsen tilpasses derfor barn helt opp i 60 cm lengde. Dette gir en god sikkerhetsmargin mot normale størrelser på premature barn, og tilfredsstillende akkurat IEC-standarden krav til størrelse på pasient, dvs. gjennomsnittslengden til et 3 måneder gammelt barn.^[39]

Området som barnet skal ligge på bør være 60 cm langt. Bredde og høyde på området der barnet skal ligge velges i henhold til eksisterende kuvøser:
Bredde: 38 cm. Høyde: 40 cm.

Kuvøsens totale indre og ytre dimensjoner vil bestemmes og tilpasses øvrige valg av design og komponenter.

Temperatur

Kuvøsen må kunne bidra til at barnet kan ligge i et termisk nøytralt miljø. Tabell 7 og Tabell 8 viser at termisk nøytralt miljø oppnås ved temperaturer mellom 30 og 35 °C. Her er ikke de ekstremt premature barnene tatt med. Disse vil trenge enda høyere temperaturer. Tabell 10 viser eksisterende kuvøser ytelse i forhold til temperatur, og disse er ganske enstemte. Ønsket temperaturspekter og ytelse på IncubAid-kuvøsen velges etter dette, og blir dermed 20 – 39°C.

Ventilasjon

Ventilasjonen (volumstrømmen) på IncubAid-kuvøsen må minimum tilsvare lungeventilasjonen til barnet som på sitt meste er bestemt til 2,16 liter per minutt. IncubAid-kuvøsens ventilasjonen vil bli bestemt av de tekniske komponentene under strømningssimuleringene på et senere stadie i rapporten. Maksimal ventilasjon må ikke gi uønskede strømningshastigheter rundt barnet.

Strømningshastighet

Standarden setter krav til en maksimal strømningshastighet rundt barnet på 0,35 m/s. Det blir de eksisterende kuvøser ytelse som blir dimensjonerende for IncubAid-kuvøsen, på 0,1 m/s (rundt barnet).

Oppvarmingstid

Oppvarmingstiden til IncubAid-kuvøsen settes til å tilsvare eksisterende kuvøser ytelse: Ved 20 °C omgivelsestemperatur skal kuvøsens gjennomsnittstemperatur økes fra 20 °C til 31°C på 11 minutter.

Miljøparameterne og verdiene som er nevnt over vil danne grunnlaget for strømningssimuleringene. Disse parameterne vil bli målt, og brukt som grunnlag for å sammenligne de forskjellige kuvøsedesignene og -løsningene. Videre følger noen miljøparametere som er viktige å definere, og som antagelig vil være en del av kuvøsen som sluttprodukt, men disse vil ikke bli brukt i strømningssimuleringene:

Luftfuktighet

Den relative fuktigheten til luften som sirkulerer i kuvøsen må kunne justeres etter barnets gestasjonsalder og behov. Tabell 9 viser at premature barn kan ha behov for

at luftfuktighet ligger i et spekter mellom 50 og 85%. Eksisterende kuvøses ytelse i Tabell 10 brukes som dimensjonerende faktor. Den relative luftfuktigheten i IncubAid-kuvøsen må kunne ligge på mellom 30 og 95%.

Oksygenmetning i luft

Her er det de eksisterende kuvøses ytelse som blir dimensjonerende. IncubAid-kuvøsen må kunne gi en oksygenmetning i luften på 21-65%. Der 21% tilsvarer luftens egen oksygeninnhold. Ekstra tilført oksygen vil være viktig ved behandling av de mest premature barna. Ekstra tilført oksygen vil også resultere i en oksygenmodul som antagelig vil fordyre kuvøsen forholdsvis mye.

Isolasjon

IncubAid-kuvøses filtreringsgrad bør tilsvare eksisterende kuvøses filtreringsgrad. Filtreringsgraden bør derfor være på 99,9%. Dette løses ved bruk av et Hepa-filter ved kuvøses luftinntak (som beskrevet i Forordet, og valgt for IncubAid-kuvøsen i TIP300-prosjektet^[1]).

Standarden spesifiserer maksimalt støynivå i kuvøsen på 60 db, men anbefalingen om støynivå under 45 db^[32] blir dimensjonerende for IncubAid-kuvøsen.

IncubAid-kuvøses miljøparametere

Videre følger en tabell som sammenfatter de valg av miljøparametere og verdier som er gjort for IncubAid-kuvøsen:

Tabell 11: Ønskede miljøparametere og dimensjoner for kuvøsen, med nedre og øvre grense som viser variasjonsspekteret. De øverste miljøparametere vil bli målt og vurdert i strømnings simuleringene. De nederste er spesifisert for kuvøses sluttprodukt men vil ikke bli inkludert i strømnings simuleringene.

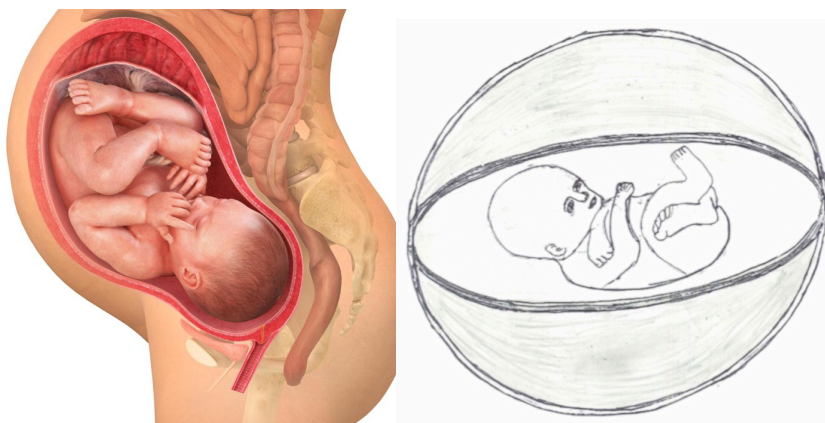
Miljøparametere	Nedre grense	Øvre grense
Innvendige dimensjoner (rundt barnet)	600 x 380 x 400 mm	600 x 380 x 400 mm
Temperatur	20	39
Ventilasjon	2,16 l/min	Ikke bestemt
Strømningshastighet	0	0,1 m/s
Oppvarmingstid (20-31°C)	0	20 min
Videre følger de miljøparametere som ikke vil bli vurdert i simuleringene		
Luftfuktighet	30	95
Oksygenmetning i luft	21%	65%
Filtreringsgrad	99,9%	99,9%
Støy	0	45 dB

Barnets innvirkning på kuvøsemiljøet

Frem til nå er det blitt beskrevet hvordan miljøet i kuvøsen påvirker det premature barnet. Men det premature barnet har også innvirkning på miljøet i kuvøsen. Barnet avgir varme som vil påvirke miljøet. Gjennom pusten tilføres luften i kuvøsen både fuktighet (H₂O) og karbondioksid (CO₂). Væske fordampes også fra barnets kropp og vil ha en innvirkning på luftfuktigheten inne i kuvøsen.

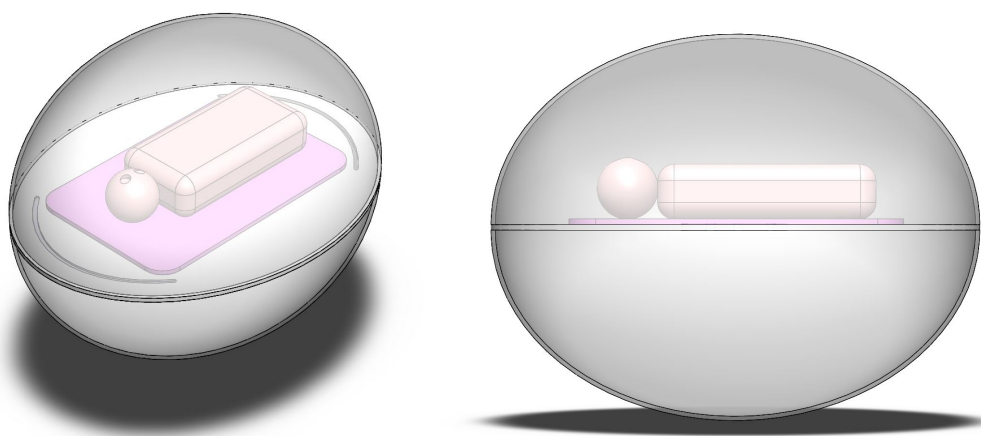
6 Designgrunnlag og formvurdering

Videre følger en vurdering av forskjellige potensielle kuvøsedesign. Barn som fortsatt ligger i mors mage ligger i et miljø med sirkulært design. Barnet er omgitt av et miljø som gir de beste livs- og vekstvilkår. En sirkulær kuvøse etterligner de formmessige forholdene som barnet opplever i mors mage.



Figur 14: Håndtegningen av et tenkt kuvøsedesign etterligner forholdene barnet opplever i mors mage. Bildet til venstre er hentet fra babyverden.no og gjengitt med tillatelse.^[40]

Et kuvøsedesign som i stor grad etterligner mors mage har mulig en del fordeler i forhold til jevn luftstrømning, men designet er ikke praktisk. Det har dårlig stabilitet og vil ta større plass enn kuvøser med flat bunn på grunn av plassering av tekniske komponenter i bunnen.



Figur 15: 3d modell av et tenkt kuvøsedesign som skal gi barnet like forhold som mors mage. Illustrasjonen til venstre er en isometrisk visning, mens illustrasjonen til høyre viser samme kuvøsen sett fra siden. Modellen består av et sirkulært skall, en plate med luftåpninger, en madrass (rosa) og en modell av et prematurt barn (mer om dette under 7.Simuleringsgrunnlag og 8.2. Valg av simuleringsparametere).

Dagens konvensjonelle kuvøser har rettete kanter og sider sammenlignet med det sirkulære designet:



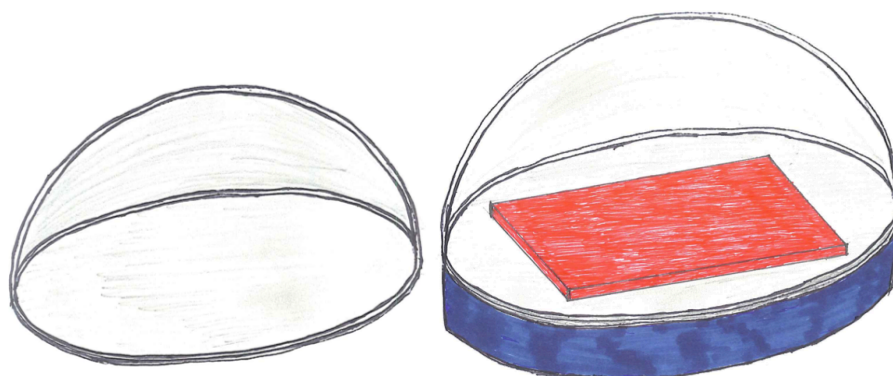
Figur 16: Håndtegning av et rektangulært design som bygger på formene fra dagens konvensjonelle kuvøser. Øverst fra venstre: Dräger Isolette 2000, Ginervri Polytrend, GE Healthcare Giraffe. Nederst fra venstre: Dräger Caleo, Atom medical Rabee Incu I. Bildene av de eksisterende kuvøsene er hentet fra kuvøsenes datablader.^[34]

6.1 Designalternativer

Basert på formvurderingen over har det blitt utarbeidet noen grove hoveddesignalternativer for kuvøsetoppen og hvordan luft skal tilføres kuvøsen.

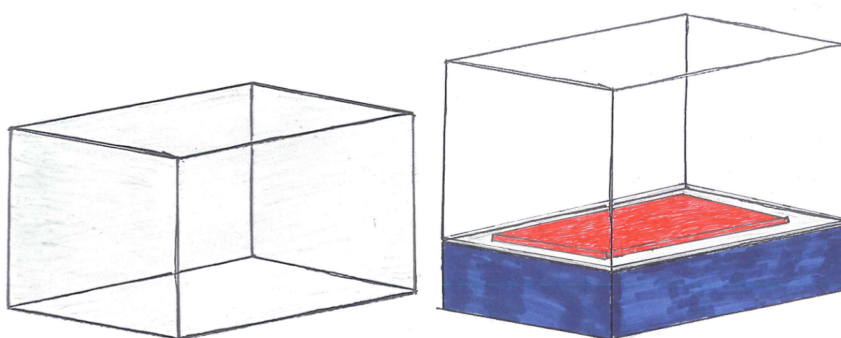
6.1.1 Kuvøsetopp

Simuleringene skal gjennomføres med to forskjellige hoveddesign på kuvøsetoppen. Hoveddesignene bruker basisformene til det å ligge i mors mage og til dagens konvensjonelle kuvøser; henholdsvis runde former/kanter og rette former/kanter. Det ene hoveddesignet blir dermed sirkulært/ovalt og har en form som minner om mors mage. Designet kan utføres med enkelt- og dobbelt glass.



Figur 17: Håndtegning av sirkulært kuvøsedesign. Til venstre sees kun kuvøsetoppen, mens bildet til høyre viser et forslag til et komplett kuvøsedesign med den sirkulære toppen, en madrass (rød) og en kuvøsebunn (blå) som er tilpasset formen på den sirkulære toppen.

Det andre hoveddesignet er rektangulært og ligner mer på dagens konvensjonelle kuvøser. Dette er rimeligere i produksjon og mer praktisk med tanke på tilpasning av luker, tilkomstmuligheter og gjennomføringer (til kabler og slanger). En rektangulær bunn er også mer plassbesparende enn en sirkulær, ettersom mange av de tekniske komponenter som skal stå i bunnen ofte har et firkantet design. Designet kan utføres med enkelt og dobbelt glass:



Figur 18: Håndtegning av rektangulært kuvøsedesign. Til venstre sees kun kuvøsetoppen, mens bildet til høyre viser et forslag til et komplett kuvøsedesign med den rektangulære toppen, en madrass (rød) og en kuvøsebunn (blå) som er tilpasset formen på den rektangulære toppen.

6.1.2 Lufttilførsel

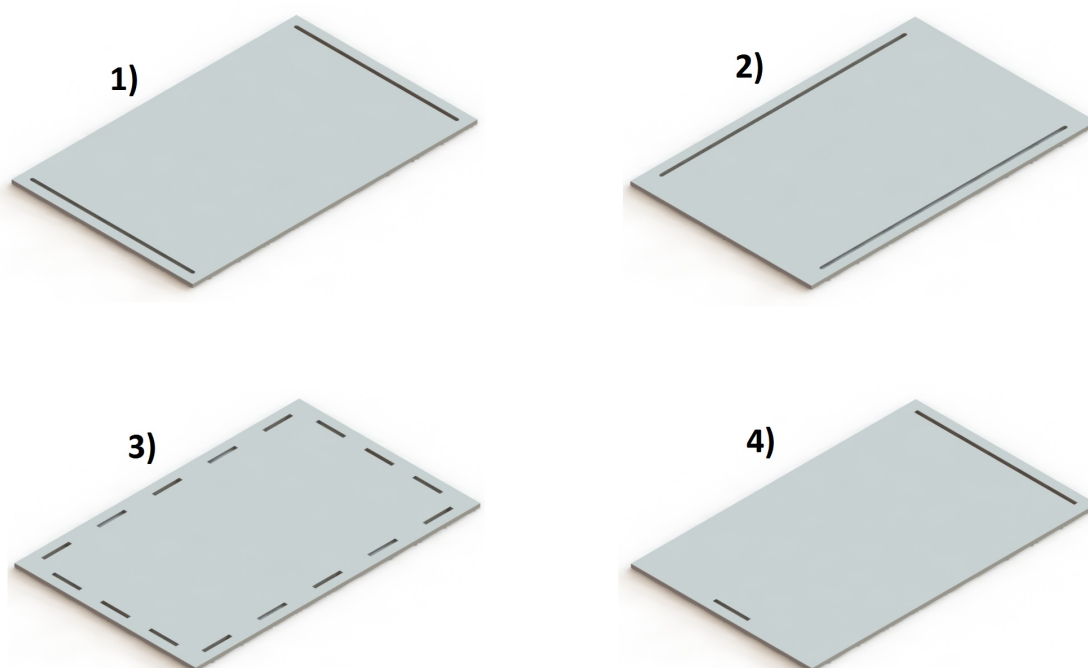
Luft skal føres inn i kuvøsetoppen for å gi barnet det riktige miljøet. Lufta kan tilføres på tre hovedmåter:

- 1: Gjennom platen som madrassen til barnet ligger på.
- 2: Fra side.
- 3: Fra topp.

1: Lufttilførsel gjennom platen

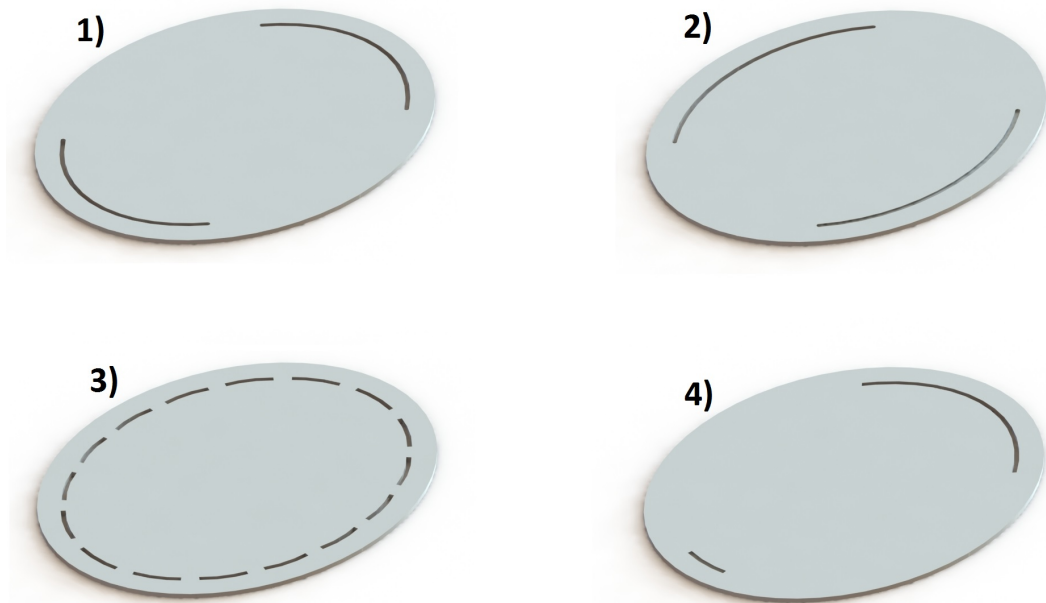
Platen kan ha flere forskjellige utforminger for å føre luft til og fra kuvøsetoppen. Videre følger designalternativer for plater til sirkulær og rektangulær kuvøsedesign. Platene har forskjellige åpninger for å føre til og fra luft.

Konfigurasjoner rektangulært design:



Figur 19: Illustrasjonen viser de forskjellige rektangulære platekonfigurasjonen som skal vurderes i strømningssimuleringene. 1) Luft kommer inn via åpning på den ene kortsiden og ut av den andre. 2) Lufttilførsel via åpning på den ene langsiden. 3) Lufta går inn og ut gjennom jevnt fordelte åpninger i platen. 4) Lufta kommer inn gjennom en liten åpning, og går ut gjennom en stor åpning på platens kortsider. Tanken bak dette er at den lille åpningen vil føre til litt større strømningshastighet inn i kuvøsen som kan resultere i god sirkulasjon og fordeling av lufta i kuvøsetoppen.

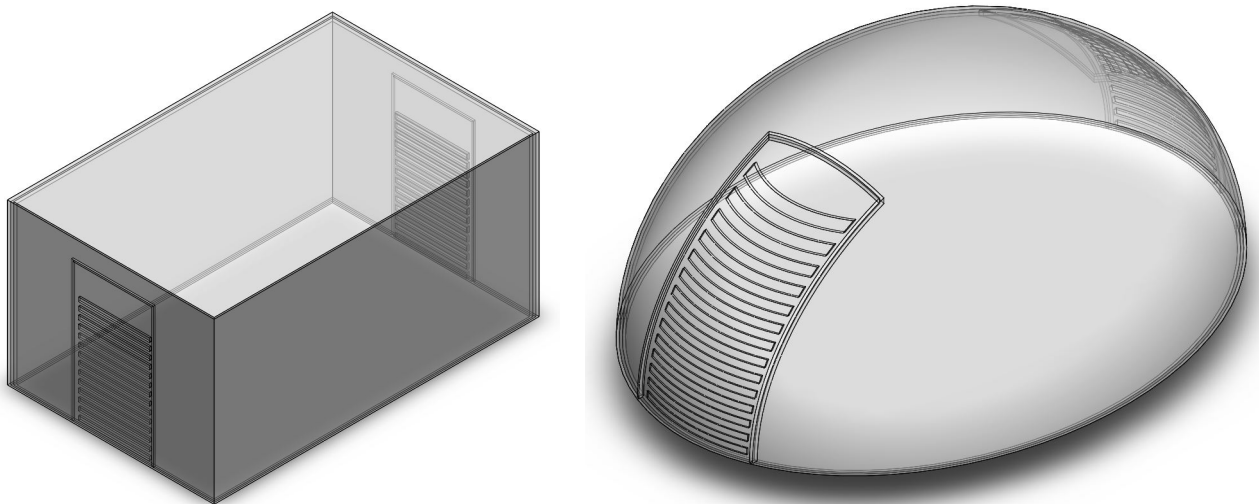
Konfigurasjoner sirkulært design:



Figur 20: Illustrasjonen viser de forskjellige sirkulære platekonfigurasjonen som skal vurderes i strømmingssimuleringene. For forklaring av 1), 2), 3) og 4) se Figur 19.

2: Lufttilførsel fra side

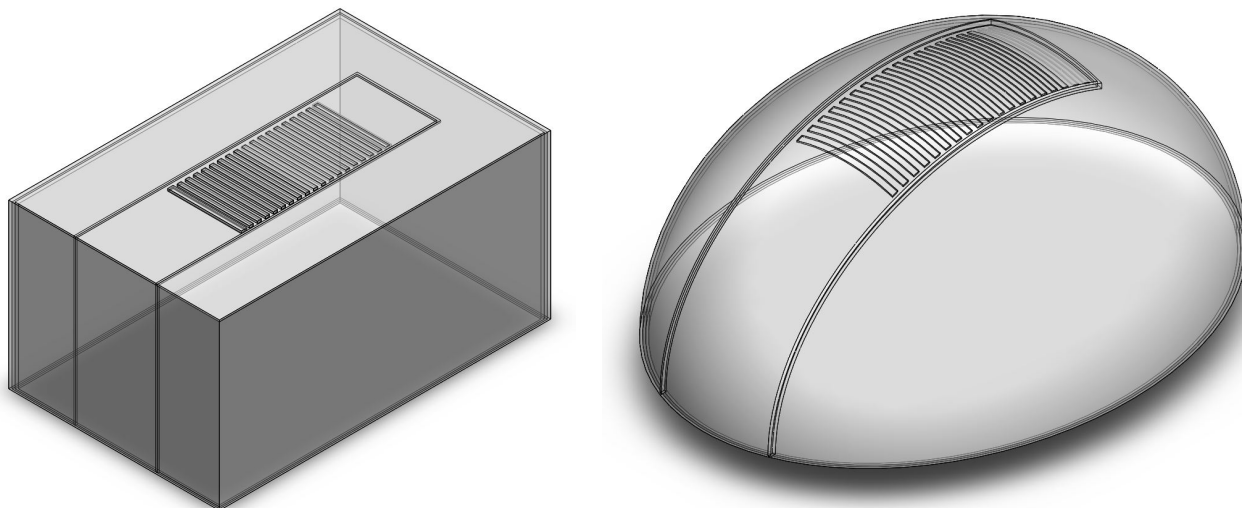
En annen måte å tilføre luft til kuvøsetoppen er å føre lufta inn fra siden på kuvøsetoppen og ut på motstående side. Dette krever en topp med doble vegger. Lufta føres i kanaler mellom den indre og ytre veggen.



Figur 21: Sirkulær og rektangulær kuvøsetopp med åpninger for luft på sidene. Lufta føres i kanaler mellom innervegg og yttervegg og inn i kuvøsen gjennom åpninger i innerveggen.

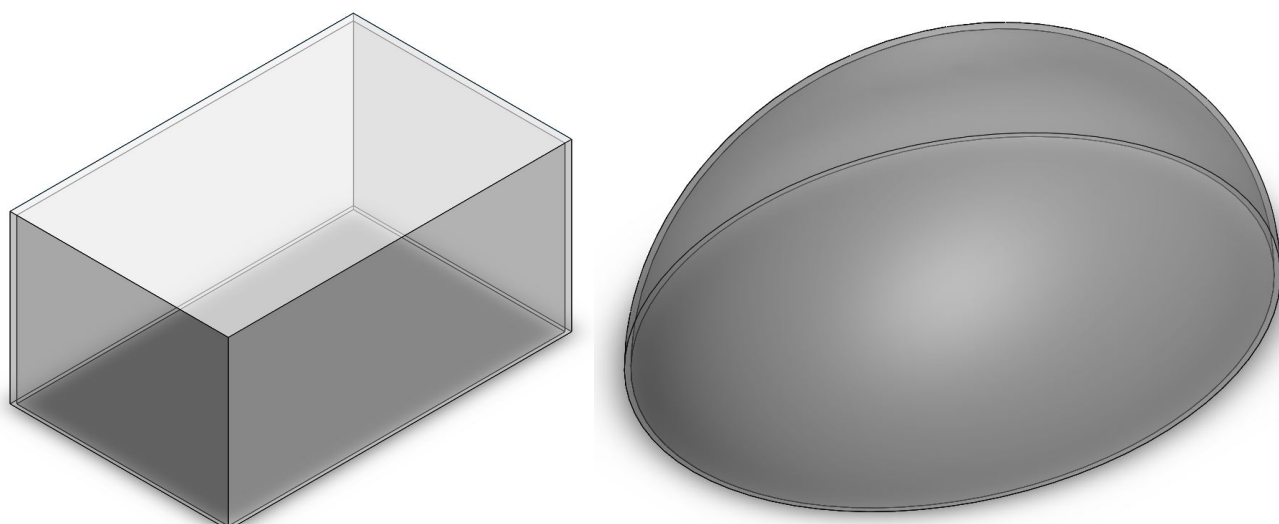
3: Lufttilførsel fra topp

Luft føres inn fra toppen av kuvøsetoppen og ut fra åpninger i plata som barnet ligger på. Også dette designet krever doble vegger. Lufta føres i kanaler mellom den indre og den ytre veggen. Den indre veggen har åpninger som slipper luften inn i kuvøsen.



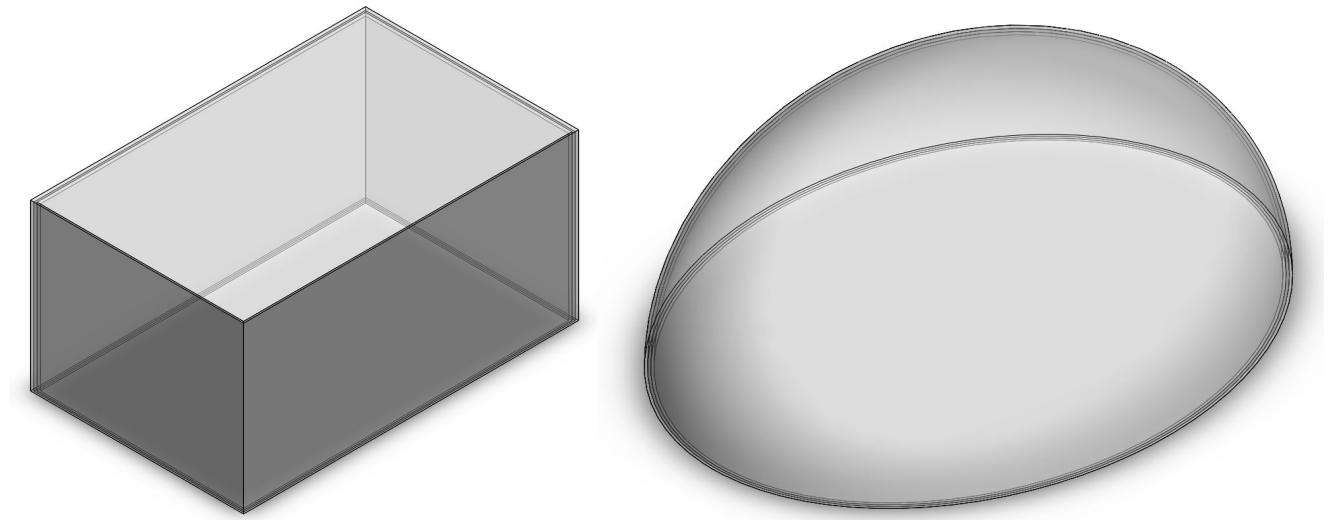
Figur 22: Sirkulær og rektangulær kuvøsetopp med lufttilførsel fra toppen. Designet krever doble vegger.

Designene med luft fra side og topp skal simuleres med doble vegger. De rektangulære og sirkulære designene med lufttilførsel via plate skal simuleres med topp med både enkle og doble vegger. Dette gjøres for å se om det gir noen forskjell i isolasjonsevne og temperaturfordelinger. Kuvøse-toppene med enkle vegger har veggtykkelse på 8mm:



Figur 23: Sirkulær og rektangulær kuvøsetopp med 8mm enkle vegger.

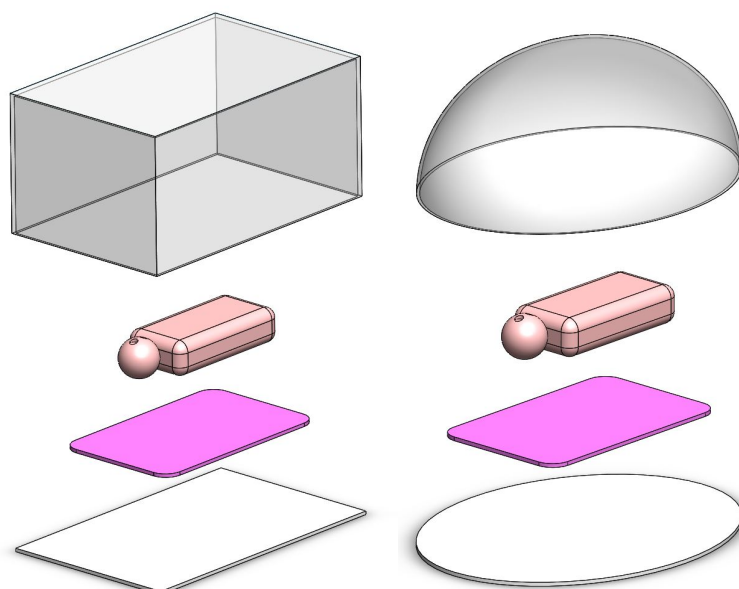
Kuvøsetoppene med doble vegger har 4mm veggtykkelse på inner- og yttervegger samt 4 mm luftslisse mellom veggene:



Figur 24: Sirkulær og rektangulær kuvøsetopp med 2 x 4mm doble vegger.

7 Simuleringsgrunnlag

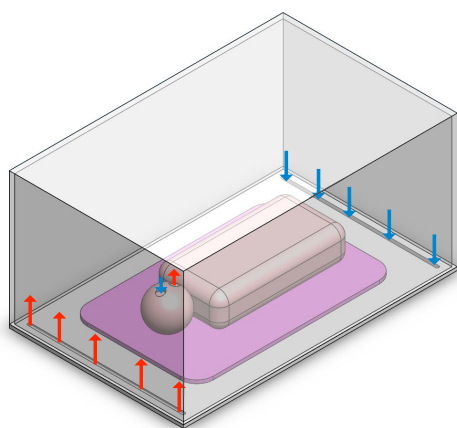
I første simuleringsrunde består modellene av kuvøsetopp, plate, madrass og modell av barn. Kuvøsebunnen er ikke tatt med. Dette gjør simuleringene raskere og gir like forutsetninger for de forskjellige designalternativene.



Figur 25: Første trinn av simuleringene skal utføres med kuvøsemodeller bestående av en plate, madrass, modell av barn og kuvøsetopp. For mål og dimensjoner av de forskjellige kuvøselementene se Vedlegg 4.

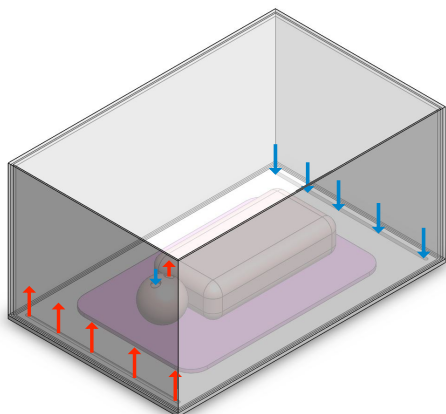
Videre følger en fullstendig oversikt over de forskjellige designalternativene og konfigurasjonene som vil gjennomgå trinn 1 (se Tabell 12) av strømningssimuleringene.

Designalternativ 1: Rektangulært hoveddesign. Luft tilføres åpning i platens kortsider. Kuvøsetoppen har enkle vegger.



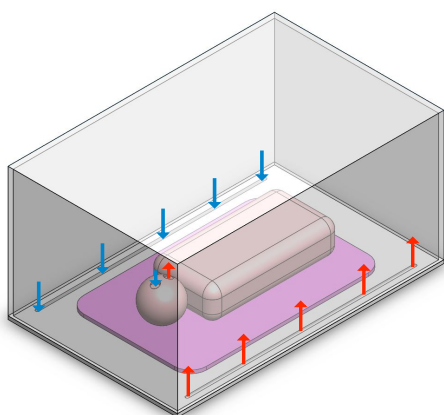
Figur 26: Designalternativ 1 der tilført luft er vist med røde piler. Blå piler markerer luft som går ut av kuvøsen. For simuleringer utført med luftstrøm på 30 l/min: Store piler tilsvarer 6 l/min. Små piler (barnets pust) tilsvarer 2,25 l/min.

Designalternativ 2: Rektangulært hoveddesign. Luft tilføres åpning i platens kortside. Kuvøsetoppen har doble vegger.



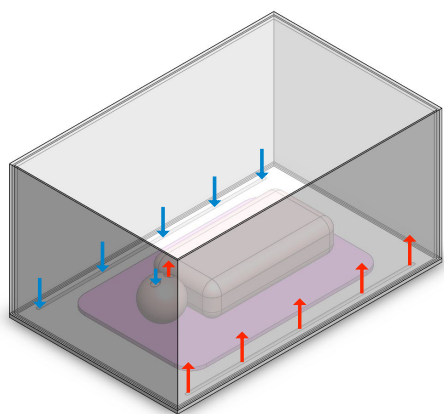
Figur 27: Designalternativ 2 der tilført luft er vist med røde piler. Blå piler markerer luft som går ut av kuvøsen. For simuleringer utført med luftstrøm på 30 l/min: Store piler tilsvarer 6 l/min. Små piler (barnets pust) tilsvarer 2,25 l/min.

Designalternativ 3: Rektangulært hoveddesign. Luft tilføres åpning i platens langside. Kuvøsetoppen har enkle vegger.



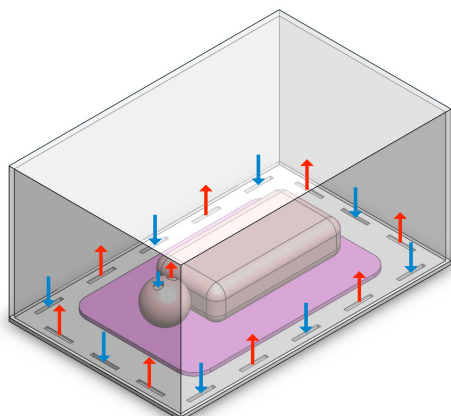
Figur 28: Designalternativ 3 der tilført luft er vist med røde piler. Blå piler markerer luft som går ut av kuvøsen. For simuleringer utført med luftstrøm på 30 l/min: Store piler tilsvarer 6 l/min. Små piler (barnets pust) tilsvarer 2,25 l/min.

Designalternativ 4: Rektangulært hoveddesign. Luft tilføres åpning i platens langside. Kuvøsetoppen har doble vegger.



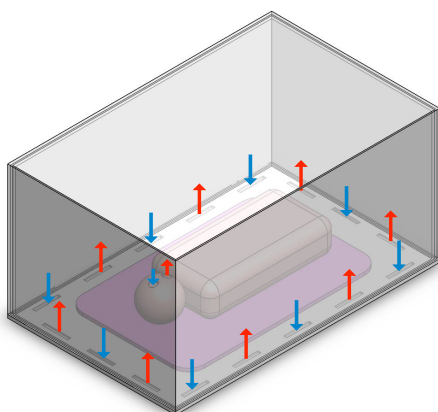
Figur 29: Designalternativ 4 der tilført luft er vist med røde piler. Blå piler markerer luft som går ut av kuvøsen. For simuleringer utført med luftstrøm på 30 l/min: Store piler tilsvarer 6 l/min. Små piler (barnets pust) tilsvarer 2,25 l/min.

Designalternativ 5: Rektangulært hoveddesign. Luft tilføres jevnt fordelte åpninger i ytterkant av platen. Kuvøsetoppen har enkle vegger.



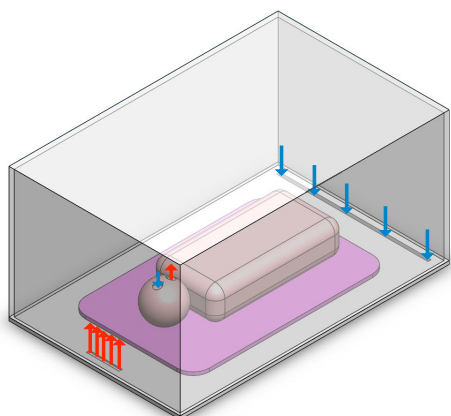
Figur 30: Designalternativ 5 der tilført luft er vist med røde piler. Blå piler markerer luft som går ut av kuvøsen. For simuleringer utført med luftstrøm på 30 l/min: Store piler tilsvarer 3,75 l/min. Små piler (barnets pust) tilsvarer 2,25 l/min.

Designalternativ 6: Rektangulært hoveddesign. Luft tilføres jevnt fordelte åpninger i ytterkant av platen. Kuvøsetoppen har doble vegger.



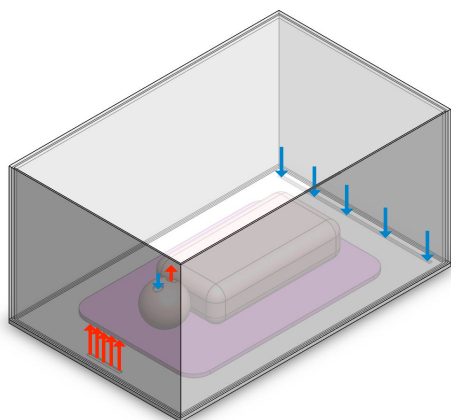
Figur 31: Designalternativ 6 der tilført luft er vist med røde piler. Blå piler markerer luft som går ut av kuvøsen. For simuleringer utført med luftstrøm på 30 l/min: Store piler tilsvarer 3,75 l/min. Små piler (barnets pust) tilsvarer 2,25 l/min.

Designalternativ 7: Rektangulært hoveddesign. Luft tilføres en liten åpning på platens kortsida. Luften går ut av en større åpning på platens motstående kortsida. Kuvøsetoppen har enkle vegger.



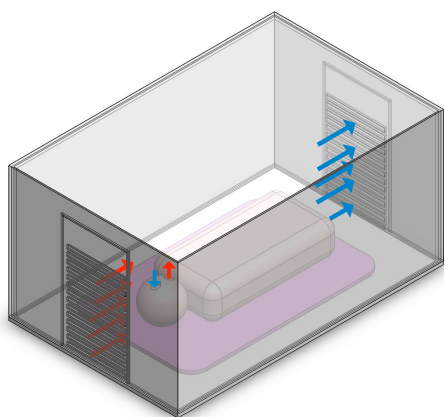
Figur 32: Designalternativ 7 der tilført luft er vist med røde piler. Blå piler markerer luft som går ut av kuvøsen. For simuleringer utført med luftstrøm på 30 l/min: Store piler tilsvarer 6 l/min. Små piler (barnets pust) tilsvarer 2,25 l/min.

Designalternativ 8: Rektangulært hoveddesign. Luft tilføres en liten åpning på platens kortsida. Luften går ut av en større åpning på platens motstående kortsida. Kuvøsetoppen har doble vegger.



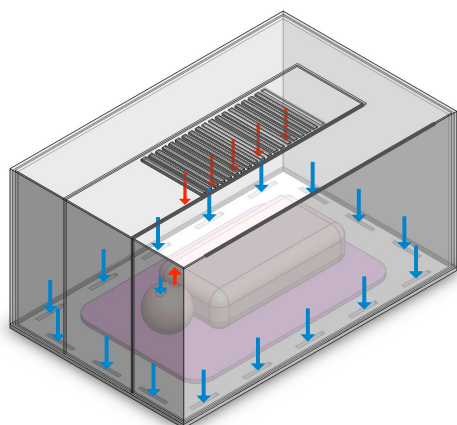
Figur 33: Designalternativ 8 der tilført luft er vist med røde piler. Blå piler markerer luft som går ut av kuvøsen. For simuleringer utført med luftstrøm på 30 l/min: Store piler tilsvarer 6 l/min. Små piler (barnets pust) tilsvarer 2,25 l/min.

Designalternativ 9: Rektangulært hoveddesign. Luft tilføres via åpninger på kuvøsetoppens kortsida. Kuvøsetoppen har doble vegger.



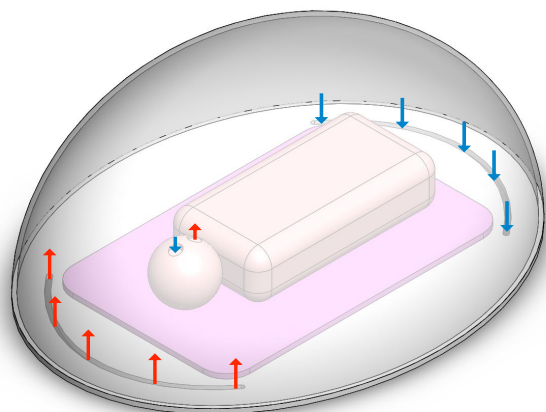
Figur 34: Designalternativ 9 der tilført luft er vist med røde piler. Blå piler markerer luft som går ut av kuvøsen. For simuleringer utført med luftstrøm på 30 l/min: Store piler tilsvarer 6 l/min. Små piler (barnets pust) tilsvarer 2,25 l/min.

Designalternativ 10: Rektangulært hoveddesign. Luft tilføres via åpninger på kuvøsetoppens topp. Kuvøsetoppen har doble vegger.



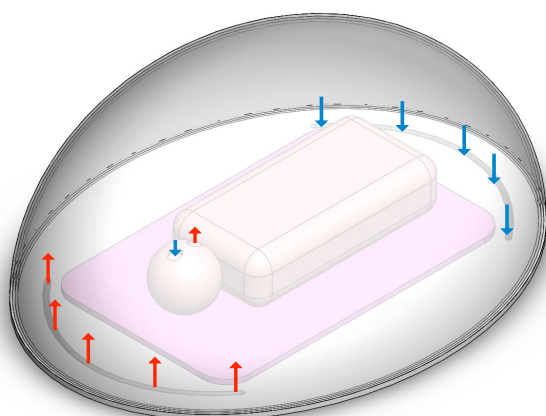
Figur 35: Designalternativ 10 der tilført luft er vist med røde piler. Blå piler markerer luft som går ut av kuvøsen. For simuleringer utført med luftstrøm på 30 l/min: Store røde piler tilsvarer 6 l/min. Store blå piler tilsvarer 1,875 l/min. Små piler (barnets pust) tilsvarer 2,25 l/min.

Designalternativ 11: Sirkulært hoveddesign. Luft tilføres åpning i platens kortsider. Kuvøsetoppen har enkle vegger.



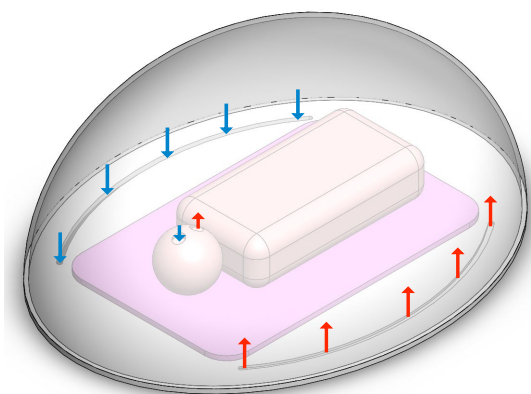
Figur 36: Designalternativ 11 der tilført luft er vist med røde piler. Blå piler markerer luft som går ut av kuvøsen. For simuleringer utført med luftstrøm på 30 l/min: Store piler tilsvarer 6 l/min. Små piler (barnets pust) tilsvarer 2,25 l/min.

Designalternativ 12: Sirkulært hoveddesign. Luft tilføres åpning i platens kortsider. Kuvøsetoppen har doble vegger.



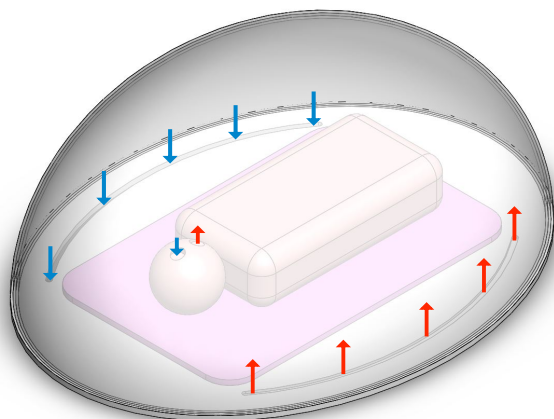
Figur 37: Designalternativ 12 der tilført luft er vist med røde piler. Blå piler markerer luft som går ut av kuvøsen. For simuleringer utført med luftstrøm på 30 l/min: Store piler tilsvarer 6 l/min. Små piler (barnets pust) tilsvarer 2,25 l/min.

Designalternativ 13: Sirkulært hoveddesign. Luft tilføres åpning i platens langside. Kuvøsetoppen har enkle vegger.



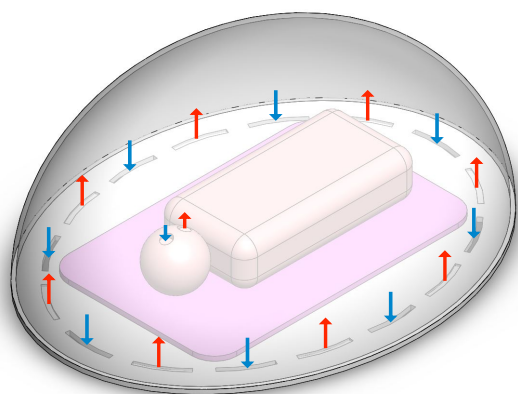
Figur 38: Designalternativ 13 der tilført luft er vist med røde piler. Blå piler markerer luft som går ut av kuvøsen. For simuleringer utført med luftstrøm på 30 l/min: Store piler tilsvarer 6 l/min. Små piler (barnets pust) tilsvarer 2,25 l/min.

Designalternativ 14: Sirkulært hoveddesign. Luft tilføres åpning i platens langsider. Kuvøsetoppen har doble vegger.



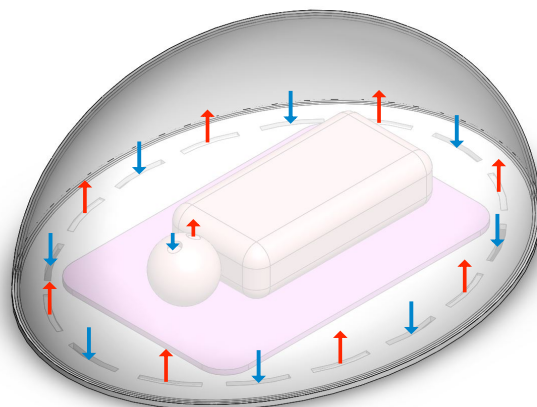
Figur 39: Designalternativ 14 der tilført luft er vist med røde piler. Blå piler markerer luft som går ut av kuvøsen. For simuleringer utført med luftstrøm på 30 l/min: Store piler tilsvarer 6 l/min. Små piler (barnets pust) tilsvarer 2,25 l/min.

Designalternativ 15: Sirkulært hoveddesign. Luft tilføres jevnt fordelte åpninger i ytterkant av platen. Kuvøsetoppen har enkle vegger.



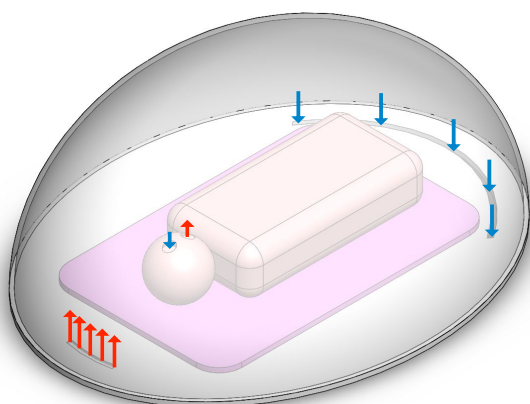
Figur 40: Designalternativ 15 der tilført luft er vist med røde piler. Blå piler markerer luft som går ut av kuvøsen. For simuleringer utført med luftstrøm på 30 l/min: Store piler tilsvarer 3,75 l/min. Små piler (barnets pust) tilsvarer 2,25 l/min.

Designalternativ 16: Sirkulært hoveddesign. Luft tilføres jevnt fordelte åpninger i ytterkant av platen. Kuvøsetoppen har doble vegger.



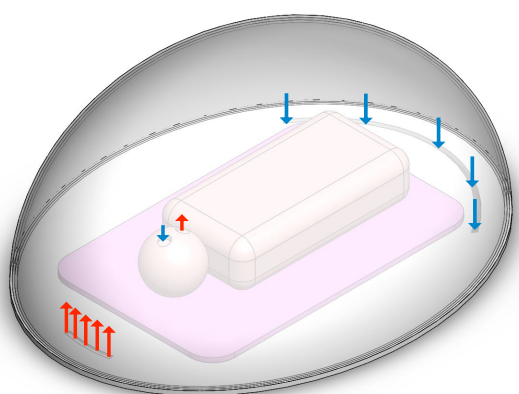
Figur 41: Designalternativ 16 der tilført luft er vist med røde piler. Blå piler markerer luft som går ut av kuvøsen. For simuleringer utført med luftstrøm på 30 l/min: Store piler tilsvarer 3,75 l/min. Små piler (barnets pust) tilsvarer 2,25 l/min.

Designalternativ 17: Sirkulært hoveddesign. Luft tilføres en liten åpning på platens kortside. Luften går ut av en større åpning på platens motstående kortside. Kuvøsetoppen har enkle vegger.



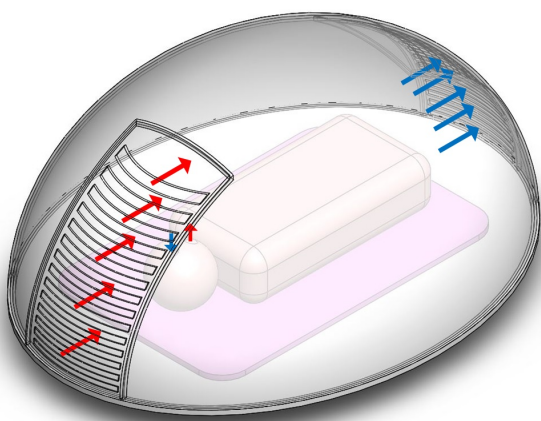
Figur 42: Designalternativ 17 der tilført luft er vist med røde piler. Blå piler markerer luft som går ut av kuvøsen. For simuleringer utført med luftstrøm på 30 l/min: Store piler tilsvarer 6 l/min. Små piler (barnets pust) tilsvarer 2,25 l/min.

Designalternativ 18: Sirkulært hoveddesign. Luft tilføres en liten åpning på platens kortside. Luften går ut av en større åpning på platens motstående kortside. Kuvøsetoppen har doble vegger.



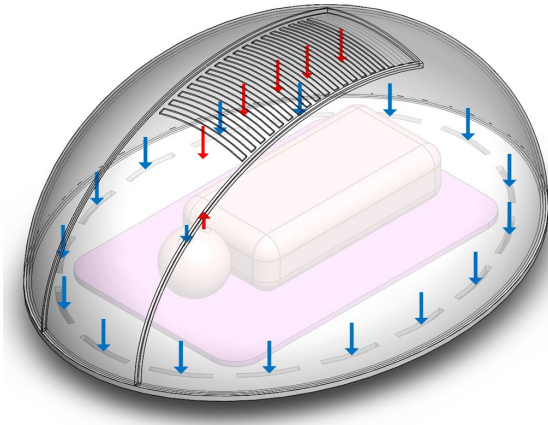
Figur 43: Designalternativ 18 der tilført luft er vist med røde piler. Blå piler markerer luft som går ut av kuvøsen. For simuleringer utført med luftstrøm på 30 l/min: Store piler tilsvarer 6 l/min. Små piler (barnets pust) tilsvarer 2,25 l/min.

Designalternativ 19: Rektangulært hoveddesign. Luft tilføres via åpninger på kuvøsetoppens kortside. Kuvøsetoppen har doble vegger.



Figur 44: Designalternativ 19 der tilført luft er vist med røde piler. Blå piler markerer luft som går ut av kuvøsen. For simuleringer utført med luftstrøm på 30 l/min: Store piler tilsvarer 6 l/min. Små piler (barnets pust) tilsvarer 2,25 l/min.

Designalternativ 20: Rektangulært hoveddesign. Luft tilføres via åpninger på kuvøsetoppens topp. Kuvøsetoppen har doble vegger.



Figur 45: Designalternativ 20 der tilført luft er vist med røde piler. Blå piler markerer luft som går ut av kuvøsen. For simuleringer utført med luftstrøm på 30 l/min: Store rød piler tilsvarer 6 l/min. Store blå piler tilsvarer 1,875 l/min. Små piler (barnets pust) tilsvarer 2,25 l/min.

8 Strømningssimuleringer

8.1 Simuleringsregime

Luftstrømningssimuleringer skal utføres på kombinasjoner av de forskjellige designene på kuvøsetoppen og lufttilførsel. Det har blitt utarbeidet en trinnvis simuleringsprosedyre som tar for seg alle simuleringene som leder fram til det mest egnede designet. I trinn 1 av simuleringene vil det bli utført simuleringer på de 20 designalternativene som er beskrevet i kapitel 7. Resultatene av simuleringstrinn 1 vil lede til 4 nye optimerte designalternativer. Det vil bli utført simuleringer på disse i trinn 2 av simuleringene. Basert på resultatene fra trinn 2 vil et endelig design bli valgt. I trinn 3 av simuleringene vil det valgte designet kombineres med en kuvøsebunn som inneholder vifte, varmeelement og luftkanal. Trinn 3 brukes til å finne et godt grovdesign på luftkanaler i kuvøsebunnen samt spesifisering av vifte og varme-element. Trinn 4 er en tidsavhengig analyse som brukes til å måle kuvøsens oppvarmingstid som en verifikasjon av de valgte komponentene.

Tabell 12: Oppsett for strømningssimuleringene:

Trinn	Simuleringsparametere	Hoveddesign	Designalternativ
1	Luftstrøm med varme og fuktighet. 51 cm modell av barn som puster.	Firkantet design	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
	Luftstrøm med varme og fuktighet. 51 cm modell av barn som puster.	Sirkulær design	11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20
2	Luftstrøm med varme og fuktighet. 51 cm modell av barn som puster.	Optimert design	1, 2, 3, 4
	Luftstrøm med varme og fuktighet. 32 cm modell av barn som puster.	Optimert design	1, 2, 3, 4
3	Kuvøsebunn med vifte og varme-element. 51 cm modell av barn som puster. 20 °C omgivelsestemperatur.	Valgt design	
	Kuvøsebunn med vifte, varme-element. 51 cm modell av barn som puster. 10 °C omgivelsestemperatur.	Valgt design	
4	Kuvøsebunn med vifte, varme-element. 51 cm modell av barn som puster. Tidsavhengig analyse for å finne kuvøsens oppvarmingstid med de valgte komponentene ved omgivelsestemperaturer på 20 °C.	Valgt design	

8.2 Valg av simuleringsparametere og simuleringsoppsett.

Strømningssimuleringene utføres med SolidWorks Flow Simulation. Videre følger simuleringsoppsettet og valg av noen simuleringsparametere. For simuleringsparametere som ikke er nevnt i dette kapittelet eller i Vedlegg 5, brukes programvarens standardverdier.^[23]

Modell av barnet

Strømningssimuleringer skal gjøres med en modell av et barn liggende på kuvøsens madrass. Som beskrevet i Tabell 12, skal det utføres simuleringer med to forskjellige modeller av det premature barnet. Den ene modellen er av et barn født i uke 40 med en lengde på 51 cm. Den andre modellen er av et barn født i uke 24 og lengde 32 cm. Barnets form er forenklet til en avrundet boks med hode.



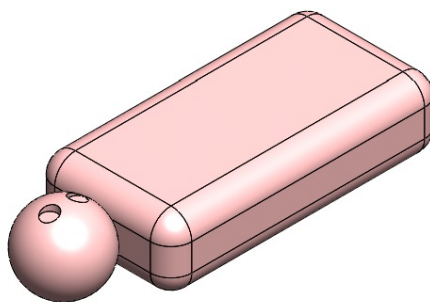
Figur 46: Bilde viser hvordan et prematurt barn kan ligge i kuvøsen. Barnet ligger på ryggen med armer og bein ut til sidene.^[41]

De geometriske målene for barnets lengde og hodediameter er hentet fra Tabell 1. Barnet kan ligge i kuvøsen og bevege armer og bein. Bredden på barne-modellen er satt noe større enn det som er normale verdier for skulderbredde ($1,1 \times \text{hode}$)^[42]. Dette er gjort for å simulere noe mer bevegelse på barnet (armer og bein ut til sidene). De to forskjellige modellene blir som følger:

Tabell 13: Valg av dimensjoner og proporsjoner for barnemodellen

Modell	51 cm [cm]	32 cm [cm]
Total lengde (fra Tabell 1)	51	32
Hodediameter (fra Tabell 1)	11,3	7
Lengde på kropp (eksklusiv hodet)	40(avrundet)	25
Bredde kropp (settes til $\frac{1}{2}$ lengde)	20	12,5
Dybde kropp (settes til $\frac{1}{4}$ lengde)	10	6,25
Åpning munn og nese (settes til $\frac{1}{5}$ hodediameter)	2,26	1,4
Avrunding av kanter (settes til)	3	2

Basert på målene i Tabell 13 er det blitt designet en 3d-modell av barnet:



Figur 47: Bilde av simuleringmodellen av det premature barnet. Under trinn 1 av simuleringene brukes kun 51 cm modellen av barnet. Mens i trinn 2 av simuleringene gjøres alle simuleringer med både 51cm modell og 32 cm modell. Åpningene på modellens hode er munn og nese. Disse brukes til å simulere henholdsvis utpust og innpust.

Fluider

Simuleringene utføres med luft og CO₂ som fluider. Luft er hovedmedium. Initielt består omgivelsene av kun luft. Pumpe og luftinnløp leverer også kun luft. Når barnet inhalerer (puster inn) luft inneholder denne normalt 78,08% nitrogen, 20,95% oksygen, 0,94 % edelgasser (mest argon) og 0,03% karbondioksid^[43]. I lungene tas deler av oksygenet opp i blodet mens kroppen kvitter seg med CO₂. Ekshalert (puster ut) luft inneholder 4-5% mindre oksygen og 4-5 % mer karbondioksid enn inhalert luft^[44]. Det er viktig å simulere denne effekten. Dette for å unngå farlige sirkulasjonsmønstre i kuvøsen der karbondioksid ikke blir fraktet ut av kuvøsen. Ekshalert luft finnes ikke som gass i simuleringprogrammet. For å simulere ekshalert luft brukes en blanding av normal luft og karbondioksid med følgende volum konsentrasjoner:

- Luft = 0,95
- Karbondioksid (CO₂) = 0,05

Ekshalert luft har også en relativ fuktighet på 100%.

Materiale

Forskjellige materialer har blitt vurdert. Polykarbonat har blitt valgt som materiale for IncubAid-kuvøsen. Simuleringene vil bli utført med dette materialet. Polykarbonat er en polymer som er kjent for å brukes i medisinske sammenhenger. Det er testet og funnet godkjent for bruk som materiale i medisinsk utstyr.^[45]

Materialegenskapene til polykarbonat gjør at det er godt egnet som materiale i en kuvøse. Det har forholdsvis høy bruddstyrke (48,3-72,4 MPa) sammenlignet med andre polymere som ABS og PMMA.^[46] Polykarbonat har også høy glassklarhet (gjennomsiktighet) slik at helsepersonell kan se barnet til enhver tid.^[47] Materialet har også en god lyddeppe egenskaper^[48]:

- 27 dB reduksjon ved bruk av 4 mm veggtykkelse
- 31 db reduksjon ved bruk av 8 mm veggtykkelse
- Trolig enda større reduksjon ved bruk av 2x4mm med luftslisse mellom.

Materialets lydisoleringsevne er viktig for å overholde det bestemte kravet til støy rundt barnet. Polykarbonat er selvslukkende dersom det begynner å brenne.

Polykarbonat har også gode termiske egenskaper^[46]:

- Termisk konduktivitet: 0,197 W/m°C
- Spesifikk varmekapasitet: 1200 J/kg°C
- Smeltetemperatur: 499K

Konstantene for termisk konduktivitet og spesifikk varmekapasitet er avgjørende for isolasjonsevnen (mot kulde) til materialet.

Strømningstype

SolidWorks Flow Simulation's forhåndsvalgte standardverdier for turbulens og laminær strømning brukes.

Simuleringsoppsett trinn 1 og 2

Simuleringene i trinn 1 og 2 er statiske analyser. Programmet prøver å finne likevektsforholdene og avslutter når disse er funnet. I forkant av analysene defineres såkalte mål ("goals"). Når verdiene til hvert av disse målene har konverget (stabilisert seg på en verdi), stopper analysen med mindre noe annet er spesifisert. Trinn 1 og 2 av simuleringene gjøres for å finne et passende design på kuvøsetoppen. I de første forsøkene er det gjort en del forenklinger. De parameterne som er valgt vil gi et godt nok bilde av hvilke design som er mest gunstig for å gi best mulig forhold for det premature barnet. Det er satt en fast volumstrøm inn på 30 liter per minutt med en temperatur på 65°C. Disse forholdene gir greie gjennomsnittstemperaturer for alle kuvøsedesignene på mellom 30 og 40 °C.

Polykarbonat er valgt for hele kuvøsen utenom kuvøseplaten. Kuvøseplaten er gjort til isolator. Dette er gjort for å unngå at omgivelsestemperaturen skal påvirke kuvøseplaten når simuleringene utføres uten kuvøsebunnen.

For øvrige simuleringsparametere se Vedlegg 5.

Simuleringsoppsett trinn 3

I trinn 3 av simuleringene simuleres kuvøsen med kuvøsebunn med luftkanal, vifte og varmeelement. Trinn 3 av simuleringene benytter mye av de samme verdiene og parametere som trinn 1 og 2 av simuleringene. Varmeelementets effekt og viftens turtall justeres fra forsøk til forsøk for å finne gode verdier.

For øvrige simuleringsparametere se Vedlegg 5.

Simuleringsoppsett trinn 4

Analysen i trinn 4 er tidsavhengig/transient. Utover dette brukes de samme simuleringsparametere som i trinn 3. I motsetning til de statiske analysene i trinn 1, 2 og 3 er ikke målet med denne analysen å finne likevektstilstander. I den tidsavhengige analysen simuleres utviklingen i kuvøsen over en forhåndsbestemt tid. Den tidsavhengige analysen brukes for å finne oppvarmingstiden til kuvøsen.

For øvrige simuleringsparametere se Vedlegg 5.

Vifte

I trinn 3 og 4 av simuleringene brukes en Papst 8412 NGLV vifte til å levere luft til kuvøsen. Det er en aksial 12V DC elektrovifte med dimensjoner 80x80x25mm som er meget stillegående og produserer maks 12dB ved 1500o/min^[49].

9 Simuleringsresultater

9.1 Resultater fra trinn 1 av simuleringene

Resultatene fra trinn 1 av simuleringene har blitt vurdert. De forskjellige designene ble satt opp mot hverandre vurdert på følgende prestasjoner: høyest oppnådd gjennomsnittstemperatur, jevn temperaturfordeling og fjerning av CO₂. De oppnådde verdiene vil ikke bli vurdert opp mot de spesifiserte verdiene for IncubAid-kuvøsen (Tabell 11). I første omgang vil de oppnådde verdiene kun brukes til å vurdere de ulike designene mot hverandre.

Fullstendige resultater for samtlige designalternativer finnes i Vedlegg 2.1 og 2.2(CD). Gjennomsnittstemperatur og temperaturvariasjoner er målt på barnets mage. CO₂ verdiene er målt ved barnets innpust. Strømningshastighetene er basert på plottet i Vedlegg 2.2(CD).

Tabell 14: Sammenfatning av resultater. Tabellen er basert på tall og figurer fra Vedlegg 2.1 og 2.2(CD). Temperaturvariasjonen er forskjellen mellom maksimumsverdien til maksimumstemperatur og minimumsverdien til minimumstemperaturen. Kelvinverdiene er omregnet til celsiusverdier. For de rektangulære (1-10) og sirkulære (11-20) designalternativene er de 3 beste og dårligste verdiene i hver kategori blitt markert i henholdsvis grønt og rosa.

Design-alternativ	Gj.snitt-temp. [°C]	Temp.-Variasjon [°C]	CO ₂ - verdier [massefraksjon]	Strømnings-hastighet [m/s]
1	31,0	0,5	0,029	Under 0,35
2	31,7	0,5	0,018	Under 0,35
3	31,1	0,6	0,010	Under 0,35
4	31,9	1,2	0,008	Under 0,35
5	31,2	0,4	0,022	Under 0,35
6	32,5	0,7	0,020**	Under 0,35
7	31,2	0,6	0,012	Under 0,35
8	31,1	0,8	0,027	Under 0,35
9	29,5	1,0	0,010	Under 0,35
10	28,7	1,1	0,007	Under 0,35
11	30,8	0,6	0,030	Under 0,35
12	33,4	0,2	0,012	Under 0,35
13	31,1	0,8	0,009	Under 0,35
14	33,5	0,6	0,007	Under 0,35
15	33,0	1,3	0,031	Under 0,35
16	36,0	0,6	0,039	Under 0,35
17	30,5	0,4	0,024	Under 0,35
18	33,1	0,3	0,043	Under 0,35
19	30,0	0,4	0,018	Under 0,35
20	29,9	0,7	0,009	Under 0,35

**Simuleringene for designalternativ 6 konvergente ikke for CO₂ verdiene. Disse må derfor sees på som unøyaktige.

Resultatoppsummering

Tabell 14 viser hvilke verdier de forskjellige designalternativene har oppnådd for de forskjellige miljøparametrene under simuleringene.

Med unntak av for designalternativ 8, gir designalternativene med topp med doble vegger høyere gjennomsnittstemperaturer enn samme design med enkle vegger. For de sirkulære designene (11-20) holder topp med doble vegger over 2 °C høyere gjennomsnittstemperatur enn designalternativet med enkle vegger. For de sirkulære designalternativene gir også topp med doble vegger lavere temperaturvariasjoner enn samme design med enkle vegger. For de rektangulære designene (1-10) gir topp med enkle vegger laveste temperaturvariasjon.

De sirkulære designalternativene holder jevnt over høyere gjennomsnittstemperatur enn de rektangulære designalternativene. Det ser også ut til at de sirkulære designalternativene totalt sett har noe lavere temperaturvariasjoner (totalsum for alle designalternativene).

Strømningsbildene i Vedlegg 2.2(CD) viser også at luftstrømningene har bedre flyt gjennom kuvøsen for de sirkulære designalternativene.

Når det gjelder CO₂ verdiene sees det ingen annen sammenheng enn at de rektangulære designalternativene totalt sett har en noe lavere verdi (totalsum).

Oppsummering av beste ytelser:

- Designalternativ 16 holder høyeste gjennomsnittstemperatur (36,0 °C).
- Designalternativ 12 har lavest variasjon i temperatur (0,2 °C) over barnets mage. Designalternativ 10 har laveste CO₂ verdier (0,007 massefraksjon) ved barnets innpust.

Resultatvurdering og valg etter trinn 1 av simuleringene:

Topp med doble vegger er et fornuftig valg uavhengig av hvilket designalternativ som velges. De høye oppnådde gjennomsnittstemperaturene viser at denne toppen har bedre isolasjon. Dette betyr igjen at varmeelementet kan brukes i mindre grad og det totale effektforbruket blir lavere. Det kan også føre til at oppvarmingstiden bli kortere. Totalt sett for alle designalternativene gir også topp med doble vegger lavere temperaturvariasjoner. Dette er viktig for å gi barnet jevne temperaturer og for å nå standardens krav om at temperaturvariasjonene ikke skal overskride 0,8 °C. Topp med doble vegger vil nok øke produksjonskostnadene noe, men mengden plast som brukes er den samme (2 x 4mm tykkelse versus 8mm tykkelse). Dersom topp med enkle vegger skulle gitt samme isolasjon som topp med doble vegger måtte veggtykkelsen blitt økt. Dette ville gitt økt totalvekt og økte produksjonskostnader.

Generelt scorer de sirkulære designalternativene bedre enn de rektangulære, med totalt sett høyere oppnådde gjennomsnittstemperaturer og lavere variasjoner. Den rent sirkulære formen er likevel noe mer upraktisk enn en firkantet form. For å få stort nok rom rundt barnet må den sirkulære kuvøsen være større enn en tilsvarende rektangulær. Det er lettere å tilpasse tilkomstluker og gjennomføringer til en firkantet form. Kuvøsebunnen er også noe mer praktisk i en firkantet form, fordi de tekniske komponentene oftere er tilpasset et rektangulært eller firkantet design. En firkantet

form vil også være enklere å frakte/transportere til kunde, da bunnen lett kan tilpasses slik at den kan ligge inne i toppen under transport.

Et optimalt design vil være å kombinere de to formene. En sirkulær øvre del av toppen vil gi kuvøsen gode termiske egenskaper. En rektangulær nedre del av toppen vil gjøre det lettere å tilpasse tilkomstluker og gjennomføringer. En rektangulær nedre del gjør også at kuvøsebunnen kan plasseres inne i kuvøsetoppen for mindre plassbruk ved frakting.

To kuvøsetoppdesign som kombinerer strømningsegenskapene til den sirkulære toppen med de praktiske egenskapene til den rektangulære toppen er blitt designet basert på resultatene til trinn 1 av simuleringene. Egenskapene til disse optimerte designene vil bli testet med strømnings-simuleringene i trinn 2:

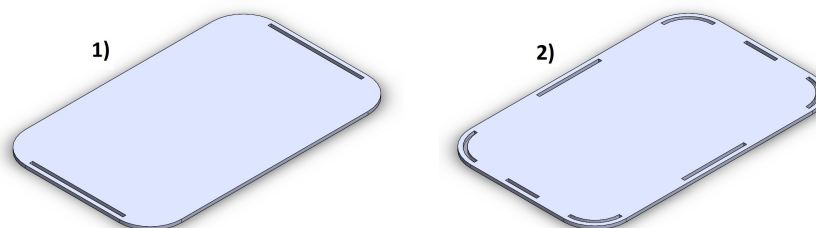
- Designalternativ 2 og 12 med platekonfigurasjon med åpninger på kortsidene produserte høye gjennomsnittsverdier for temperatur kombinert med meget lave temperaturvariasjoner. Designalternativene hadde også blant de laveste CO₂ verdiene. Platekonfigurasjonen fra designalternativ 2 og 12 vil bli tatt med til trinn 2 av simuleringene.
- Designalternativ 6 og 16 med platekonfigurasjon med jevnt fordelte åpninger produserer den høyeste gjennomsnittstemperaturen av alle designene. På grunn av den høye oppnådde temperaturen vil platekonfigurasjonen med jevnt fordelte åpninger bli tatt videre til trinn 2 av simuleringene (til tross for høye CO₂ verdier for designalternativ 16 og unøyaktige verdier for designalternativ 6).

9.2 Design, simulering og resultater trinn 2

Trinn 2 av simuleringene vil bli utført på to forskjellige optimerte design som prøver å kombinere egenskapene til det sirkulære og rektangulære hoveddesignet. Simuleringene skal utføres med to forskjellige platekonfigurasjoner. Dette er to platekonfigurasjoner som hadde gode ytelser under trinn 1 av simuleringene. Det skal utføres simuleringer med modell av barn med 51 cm (uke 40) og 32 cm (uke 24) lengde. Dette vil gi totalt 4 designalternativer og 8 forskjellige simuleringer.

Platekonfigurasjoner

2 av platekonfigurasjonene som presterte godt under trinn 1 av simuleringene vil bli brukt videre i trinn 2 av simuleringene. Den jevnt fordelte platen har fått færre, men større luftåpninger sammenlignet med platen fra trinn 1 av simuleringene. Dette er gjort av hensyn til produksjonskompleksitet og pris.

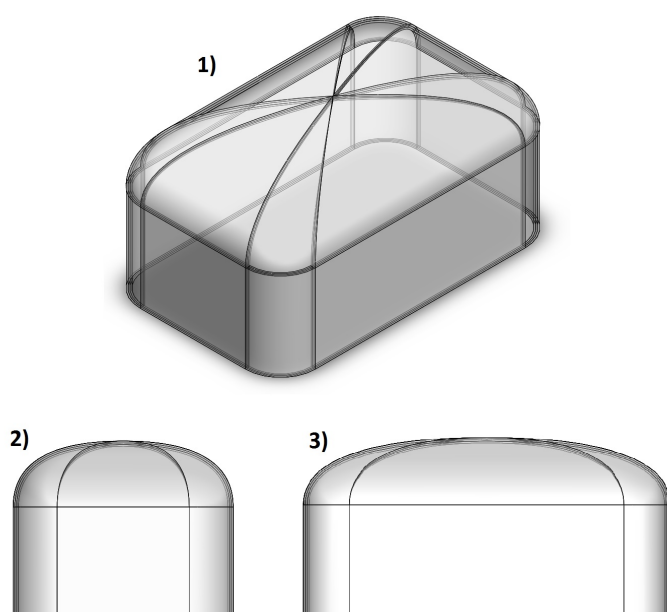


Figur 48: Platekonfigurasjoner som vil bli testet i trinn 2 av strømnings-simuleringene. 1) Luftåpninger på kortsiden. 2) Jevnt fordelte luftåpninger. Platedesignene har fått avrundede hjørner som er tilpasset kuvøsetoppenes optimerte design.

Nytt og optimert design

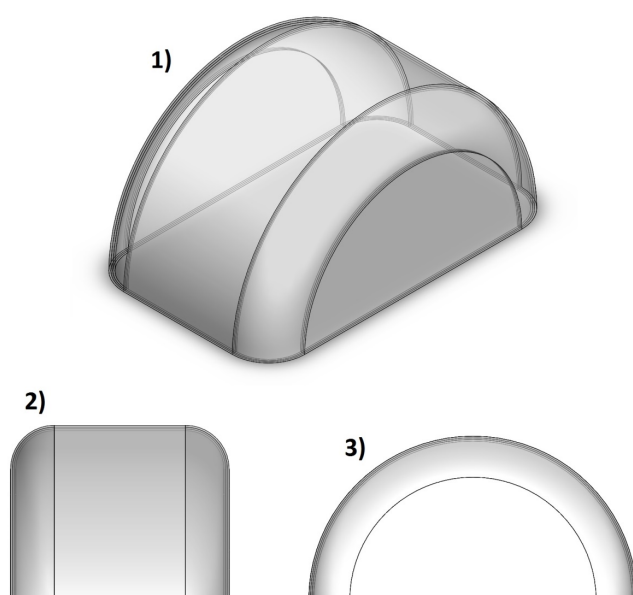
To nye optimerte kuvøsetopper er designet basert på resultatene fra trinn 1 av simuleringene. Begge designene har 2 x 4mm doble vegger med 4 mm luftslisse mellom inner- og yttervegg.

Den ene toppen er bestående av en kuvøsetopp med avrundet rektangulær bunn som går over i en sirkulær/buet topp.



Figur 49: Optimert design, rektangulær avrundet nedre del som går over i en sirkulær øvre del. 1)Isometrisk 2)Sett fra kortsida 3)Sett fra langsida.

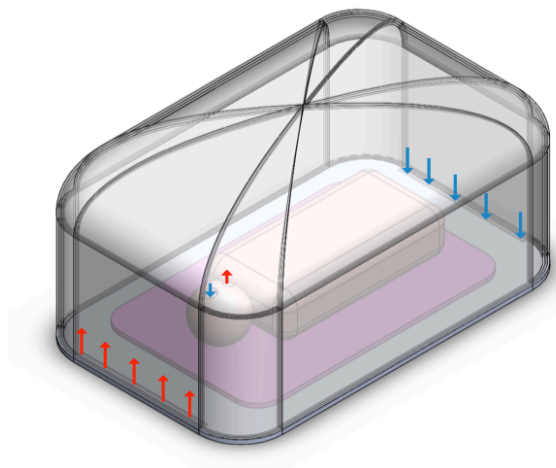
Det andre designet av toppen er et sirkulært design med avrettede langvegger. Ideen bak dette er at de gode strømningsegenskapene til det sirkulære designet kombineres med avrettede vegger som gjør at kuvøsens totale bredde blir mindre (sammenlignet med et rent sirkulært design), samt forenkler tilpasning av tilkomstluker og gjennomføringer ved å plassere disse på kuvøsetoppens rette vegger.



Figur 50: Optimert design som er buet, men med rette langvegger. 1)Isometrisk 2)Sett fra kortsida 3)Sett fra langsida.

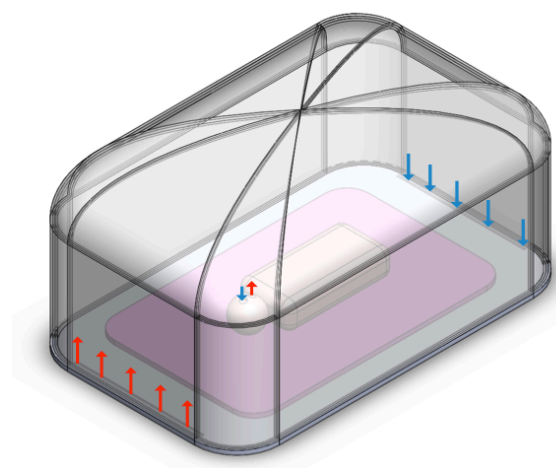
Videre følger simuleringmodellene til de 8 simuleringene som skal utføres og vurderes opp mot hverandre i trinn 2 av simuleringene:

Optimert design 1 med 51cm modell av barn:



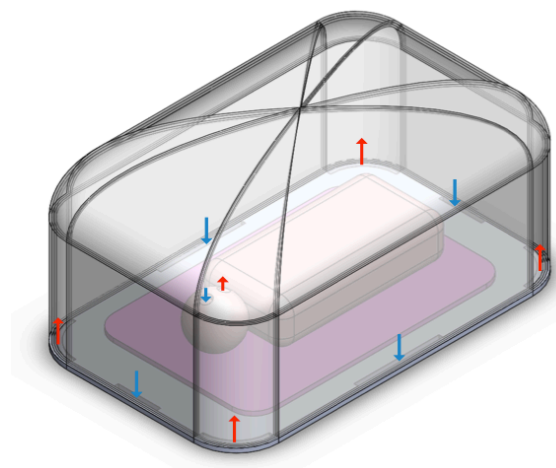
Figur 51: Optimert design 1 med 51 cm modell av barn: Optimert topp med jevnt fordelte åpninger i bunnen. Modell av barn 51cm. Store piler tilsvarer volumstrøm på 6 l/min. Total volumstrøm = $5 \times 6 = 30$ l/min (identisk med trinn 1 av simuleringene). Små piler (barnets munn) tilsvarer en volumstrøm på 2,25 l/min (identisk med trinn 1 av simuleringene).

Optimert design 1 med 32cm modell av barn:



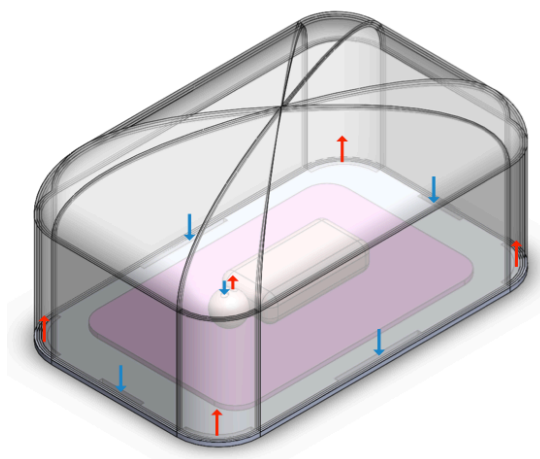
Figur 52: Optimert design 1 med 32 cm modell av barn: Optimert topp med jevnt fordelte åpninger i bunnen. Modell av barn 32cm. Store piler tilsvarer volumstrøm på 6 l/min. Små piler (barnets munn) tilsvarer en volumstrøm på 2,25 l/min. 32cm modellen av barnet puster like mye som 51cm modellen. Dette er konservativt med tanke på produksjonen av CO₂.

Optimert design 2 med 51cm modell av barn:



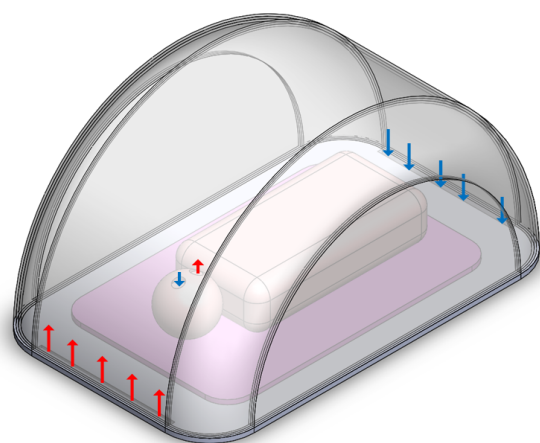
Figur 53: Optimert design 2 med 51 cm modell av barn: Optimert topp med jevnt fordelte åpninger i bunnen. Modell av barn 51cm. Store piler tilsvarer volumstrøm på 7,5 l/min. Total volumstrøm = $4 \times 7,5 = 30$ l/min. Små piler (barnets munn) tilsvarer en volumstrøm på 2,25 l/min.

Optimert design 2 med 32cm modell av barn:



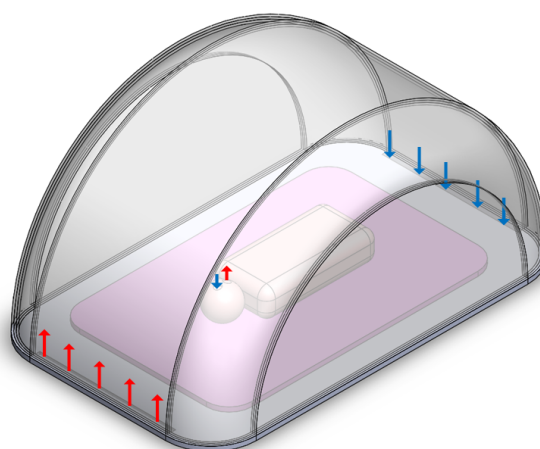
Figur 54: : Optimert design 2 med 32 cm modell av barn: Optimert topp med jevnt fordelte åpninger i bunnen. Modell av barn 32cm. Store piler tilsvarer volumstrøm på 7,5 l/min. Små piler (barnets munn) tilsvarer en volumstrøm på 2,25 l/min.

Optimert design 3 med 51cm modell av barn:



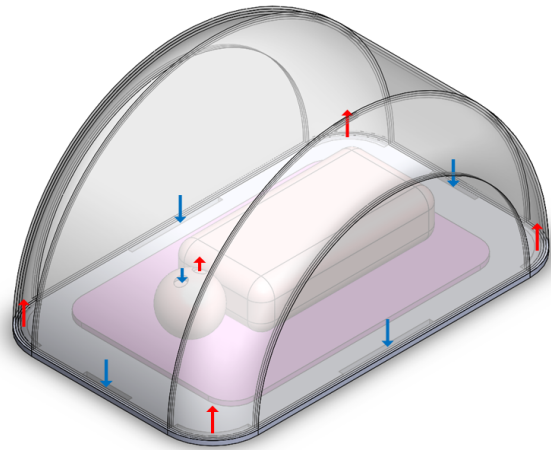
Figur 55: Optimert design 3 med 51 cm modell av barn: Optimert topp med jevnt fordelte åpninger i bunnen. Modell av barn 51cm. Store piler tilsvarer volumstrøm på 6 l/min. Total volumstrøm = $5 \times 6 = 30$ l/min (identisk med trinn 1 av simuleringene). Små piler (barnets munn) tilsvarer en volumstrøm på 2,25 l/min (identisk med trinn 1 av simuleringene).

Optimert design 3 med 32cm modell av barn:



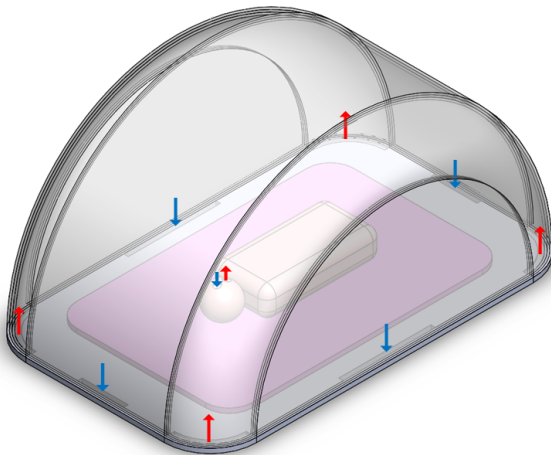
Figur 56: : Optimert design 1 med 32 cm modell av barn Optimert topp med jevnt fordelte åpninger i bunnen. Modell av barn 32cm. Store piler tilsvarer volumstrøm på 6 l/min. Små piler (barnets munn) tilsvarer en volumstrøm på 2,25 l/min. 32cm modellen av barnet puster like mye som 51cm modellen. Dette er konservativt med tanke på produksjonen av CO_2 .

Optimert design 4 med 51cm modell av barn:



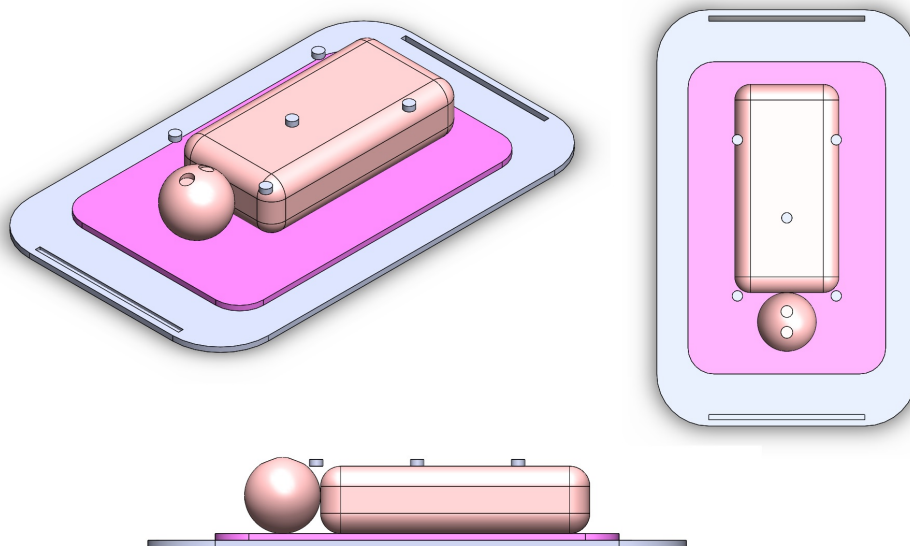
Figur 57: Optimert design 2 med 51 cm modell av barn: Optimert topp med jevnt fordelte åpninger i bunnen. Modell av barn 51cm. Store piler tilsvarer volumstrøm på 7,5 l/min. Total volumstrøm = $4 \times 7,5 = 30$ l/min. Små piler (barnets munn) tilsvarer en volumstrøm på 2,25 l/min.

Optimert design 4 med 32cm modell av barn:

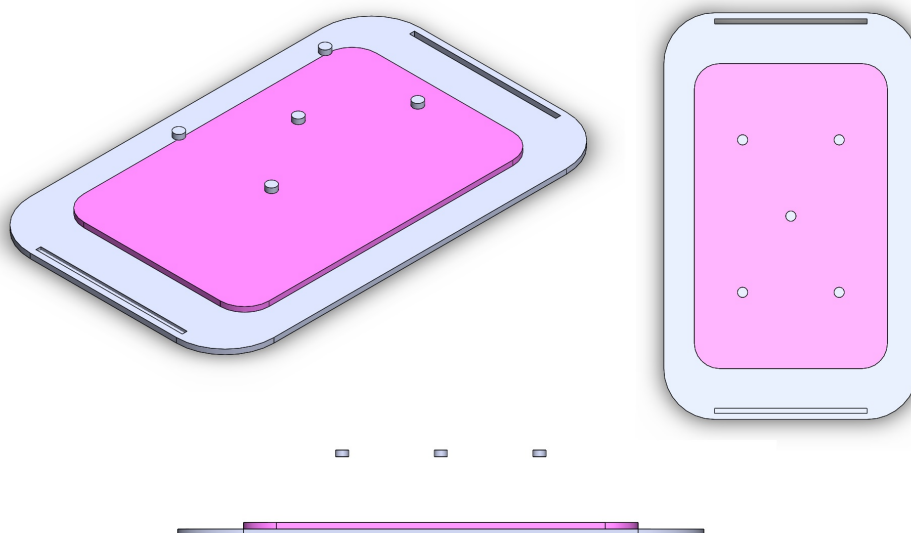


Figur 58: : Optimert design 2 med 32 cm modell av barn: Optimert topp med jevnt fordelte åpninger i bunnen. Modell av barn 32cm. Store piler tilsvarer volumstrøm på 7,5 l/min. Små piler (barnets munn) tilsvarer en volumstrøm på 2,25 l/min.

Simuleringene i trinn 2 består av kuvøsetoppen, modell av barnet, plate, madrass og fem punkter som brukes som målepunkter etter standardens presiseringer:



Figur 59: Simuleringsmodell trinn 2. Punktene som ligger på toppen av barnet er ikke med i selve simuleringene men brukes som et målingsområde for miljøparametere (temperatur og strømningshastighet). De 5 punktene markerer standardens 5 målepunkter som brukes til å teste kuvøsens ytelser i forhold til temperatur og strømningshastigheter. Det midterste punktet er punkt M, mens de 4 andre punktene er punkter A, B, C og D (se Figur 12).



Figur 60: Standardens spesifiserte målepunkter ligger 10 cm over madrassen. De fire punktene A, B, C og D er plassert slik som standarden spesifiserer, som midtpunktene til madrassens fire kvadranter (se Figur 12).

Resultater trinn 2 av simuleringene

Resultatene fra trinn 2 av simuleringene har blitt vurdert. De forskjellige designene har blitt satt opp mot hverandre og vurdert på følgende prestasjoner:

- Høyeste oppnådde gjennomsnittstemperatur ved målepunkt M.
- Laveste temperaturvariasjon ved målepunkt M.
- Høyeste oppnådde gjennomsnittstemperatur på barnets mage.
- Laveste temperaturvariasjon på barnets på mage.
- Høyeste grad av fjerning av CO₂ målt ved barnets nese.
- Laveste strømningshastighet målt i punktene A, B, C, D og M.

De oppnådde verdiene vil ikke bli vurdert opp mot de spesifiserte verdiene for IncubAidkuvøsen (Tabell 11). I første omgang vil de oppnådde verdiene kun brukes til å vurdere de forskjellige designene mot hverandre. Fullstendige resultater for samtlige designalternativer finnes i Vedlegg 2.3 og 2.4.

Tabell 15: *Sammenfatning av resultater fra trinn 2 av simuleringene. Tabellen er basert på tall og figurer fra Vedlegg 2.3 og 2.4(CD). Temperaturvariasjonen for ABCD-M er største forskjellen mellom gjennomsnittstemperaturen i punkt M og høyeste /laveste målte verdi i punktene A, B, C og D. Temperaturvariasjonen på barnet er differansen mellom maksimums- og minimumstemperaturen målt på barnets mage.*

Design-alt.	Gj.snitt-temp. Punkt M	Temp.-variasjon ABCD-M	Gj.snitt-temp. Barn	Temp.-variasjon Barn	CO ₂ -verdier	Strømnings-hastighet ABCDM
Optimert 1 51 cm	32,30	0,25	31,88	0,17	0,014	0,054
Optimert 1 32 cm	32,81	0,61	32,47	0,10	0,020	0,083
Optimert 2 51 cm	32,44	0,32	32,24	0,29	0,007	0,050
Optimert 2 32 cm	33,25	0,31	32,99	0,12	0,021	0,053
Optimert 3 51 cm	32,64	0,86	32,55	0,16	0,016	0,080
Optimert 3 32 cm	34,22	0,72	33,02	0,09	0,014	0,061
Optimert 4 51 cm	33,69	0,33	33,25	0,39	0,014	0,077
Optimert 4 32 cm	34,45	0,52	33,60	0,17	0,017	0,032

Resultatoppsummering

Optimert design 3 og 4 oppnår noe høyere gjennomsnittstemperaturer sammenlignet med optimert design 1 og 2, og det er oppnådd generelt høyere gjennomsnittstemperatur for jevnt-fordelt-platekonfigurasjon.

Temperaturvariasjonene er jevnt over gode for alle de optimerte designalternativene. Med unntak av alternativ 3 med 51cm barnemodell er alle under 0,8 °C som er standardens krav til maksimal temperaturvariasjon.

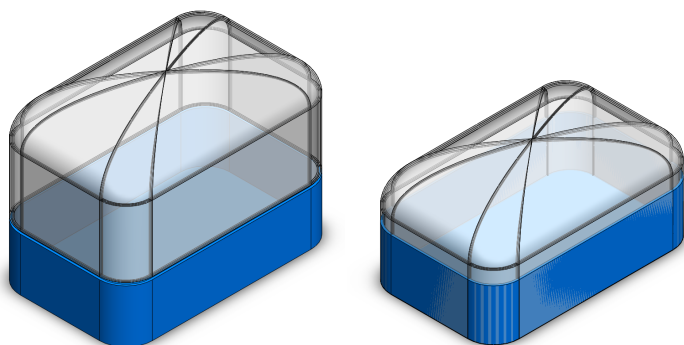
Verdiene for temperaturvariasjon er jevnt over bedre for designalternativ 1 og 2 enn for 3 og 4 for standardens målepunkter A, B, C, D og M. Alle strømnings-hastighetene er langt under 0,35 m/s som er standardens krav til maksimal hastighet. For CO₂ verdiene er det designalternativ 3 og 4 som jevnt over har de laveste verdiene.

Resultatvurdering og valg av endelig design etter trinn 2 av simuleringene:

Høy oppnådd gjennomsnittstemperatur betyr at designet er energieffektivt og vil komme til å bruke lite strøm. Dette gjør at kravene til varmeelementet blir lavere. Et varmeelement med lavere effekt trekker mindre strøm. Dette er spesielt gunstig dersom kuvøsen til tider må drives av et batteri på grunn av upålitelig strømmnett. Lave temperaturvariasjoner anses likevel som enda viktigere enn høy oppnådd gjennomsnittstemperatur. Det premature barnet kan ha behov for gjennomsnittstemperaturer opp mot 37 °C. Dette kan gi høyere temperaturvariasjon enn det som er oppnådd i simuleringene og vist i Tabell 15. Temperaturvariasjonen designet oppnår anses derfor som det viktigste vurderingspunktet ettersom gjennomsnittstemperaturen kan økes ved hjelp av et noe større varmeelement.

De forskjellige designene yter forholdsvis jevnt. Det praktiske rundt de forskjellige designene er også avgjørende. Platekonfigurasjonene med jevnt fordelte åpninger er mer komplisert å detaljdesigne og produsere. Spesielt utfordrende vil det være å få like mye luft til hvert innløp (det er jo dette resultatene egentlig bygger på). Plate-designet med åpninger i kortsidene er rimeligere å produsere og mindre komplisert når luftkanaler i kuvøsebunnen skal designes. Den buede kuvøsetoppen i designalternativ 3 og 4 er nytenkende og interessant. Den er derimot ikke så praktisk når det gjelder frakt. IncubAid-kuvøsen skal kanskje sendes til avsidesliggende sykehus i områder med dårlig utbygd infrastruktur. Dette setter krav til kuvøsens evne til å pakkes kompakt. Det buede designet har dessverre få muligheter til å pakkes kompakt. Kuvøsebunnen vil ikke kunne legges inne i den buede kuvøsetoppen. En kuvøsebunn vil derimot kunne legges inne i kuvøsetoppen i designalternativ 1 og 2. På denne måten kan kuvøsen pakkes mer kompakt og enklere transporteres.

En totalvurdering av de termiske egenskapene, ytelse i forhold til standardens krav og praktiske forhold gjør at optimert design 1 er løsningen som anbefales å gå videre med i designprosessen og prototypetesting. Designet leverer ikke de beste simuleringresultatene, men temperaturvariasjonene og strømningshastighetene er godt innenfor standardens krav. Optimert design 1 er det designet som er rimeligst i produksjon samtidig som det har generelt gode praktiske egenskaper (tilpasning av luker og gjennomføringer, kompakt pakking for transport).



Figur 61: Figuren viser hvordan plassvolumet til kuvøsen til høyre kan bli redusert ved frakt dersom kuvøsebunnen har en form som kan få plass inne i kuvøsetoppen.

En alternativ mulighet kunne vært å lage prototype av optimert design 3 også. Dette designet er nok ikke noe dyrere i produksjon enn det valgte designet. Videre kan begge prototypene testes. Dersom det buede designet viser seg å ha meget gode termiske egenskaper og gode testresultater i forhold til kuvøsemiljøet, kunne det vært aktuelt å produsere to forskjellige kuvøsetopper til IncubAid-kuvøsen. Optimert design 3 kunne tilbys sykehus der kompakt pakning ikke er problematisk for frakt og transport av kuvøsen. Mens optimert design 1 med sin mulighet for kompakt pakning kunne tilbys sykehus hvor dårlig utbygd infrastruktur er en kompliserende faktor. I denne omgang velges kun optimert design 1 for videre utredning i trinn 3 og 4 av simuleringene.

9.3 Design, simulering og resultater trinn 3 av simuleringene

Trinn 3 av simuleringene brukes til å bestemme et foreløpig design på luftkanaler i kuvøsebunnen og spesifikasjonene til de tekniske komponentene; vifte og varmelement.

Simuleringsmodeller og oppsett

I simuleringstrinn 3 vil modellen bestå av det valgte kuvøsedesignet (optimert design 1), samt en tilpasset kuvøsebunn. Kuvøsebunnen vil inneholde en vifte (Papst 8412 NGLV), et varmeelement og en luftkanal som leder friskluft inn i kuvøsetoppen. Simuleringene skal brukes til å verifisere det valgte designet, og til å spesifisere hvor stort varmelementet må være for å oppnå et miljø inne i kuvøsen som tilfredsstillende de målene spesifisert i Tabell 11 som angår temperatur og temperaturfordeling. Simuleringene vil også verifisere at den valgte viftens ytelser er tilfredsstillende. Under trinn 3 av simuleringene har det blitt utført flere forskjellige forsøk der ulike design på luftkanaler, effekter på varmelement og turtall på vifta har blitt testet. Hvert simuleringsforsøk har vist forskjellige forbedringspotensialer som har blitt utnyttet og forbedret før neste simulering.

Foruten de nevnte komponentene består modellen også av madrassen, det premature barnet og de 5 målepunktene som er spesifisert i standarden. Målepunktene er ikke fysisk med i simuleringene, men brukes for å definere hvor målingene skal gjøres. I trinn 3 av simuleringene brukes kun 51cm modellen av barnet.

Simuleringsparameterne og verdiene er mer eller mindre tilsvarende de som er brukt under trinn 2 av simuleringene (se Vedlegg 5 for mer informasjon).

De forskjellige forsøkene som utføres i trinn 3 av simuleringene skal vurderes etter følgende ytelser(mål for konvergens):

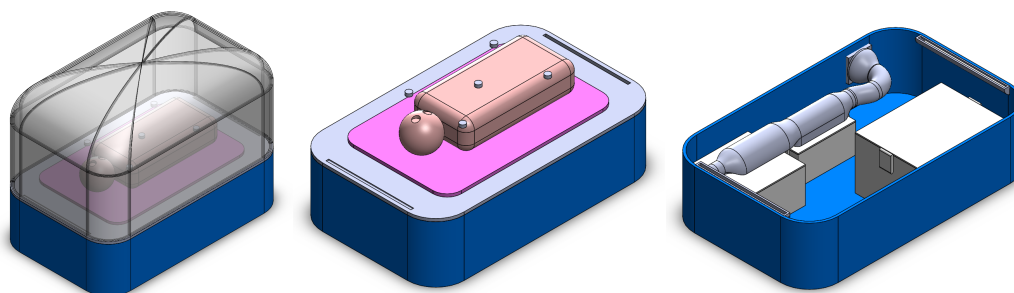
- Gjennomsnittstemperatur M
- Temperaturvariasjon ABCD-M
- Gjennomsnittstemperatur barn
- Temperaturvariasjon barn
- Volumstrøm levert fra vifte

I tillegg vil strømningshastigheten til den valgte løsningen bli presentert. Barnets pust vil bli simulert, men CO₂-verdiene vil ikke bli vurdert. Slik modellen er bygd opp er vurdering av CO₂-verdier mest hensiktsmessig når forskjellige design skal bli vurdert opp mot hverandre (slik som i trinn 1 og 2 av simuleringene). CO₂-verdiene sier ikke så mye i seg selv.

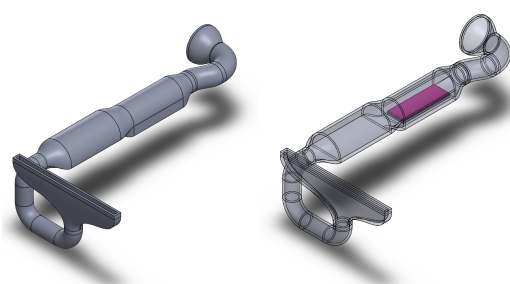
Grunnet kompleksitet på simuleringene er ikke strømningshastigheter og CO₂-verdier brukt som mål for konvergens. Dette er gjort på grunn av begrensning i datakraft og av hensyn til tid. Vedlegg 2.5(CD) viser strømningshastigheter og CO₂-verdier for alle forsøkene. Der kommer det fram at strømningshastighetene for samtlige forsøk er godt under det som er spesifisert i standarden.

Modell forsøk 1

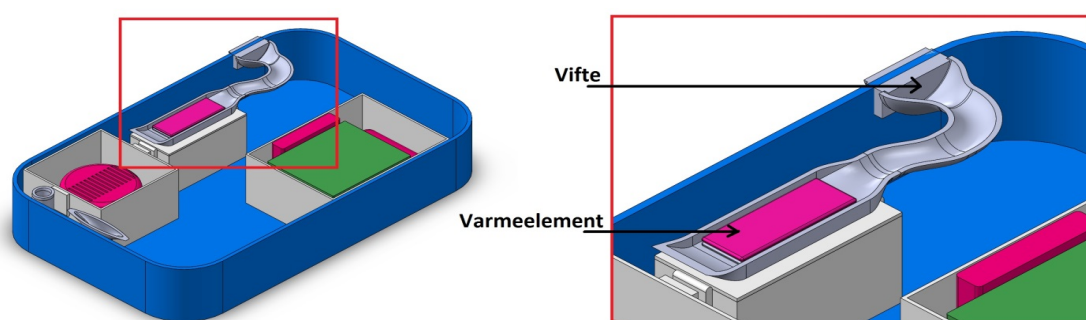
Forsøk 1 ble utført med modellen som følger under. Varmeelementet hadde en effekt på 100 watt og turtallet på vifta var satt til 900 o/min (omdreininger per minutt).



Figur 62: Simuleringsmodell forsøk 1, trinn 3. Kuvøsebunnen inneholder modeller av tekniske moduler. Dette er gjort for å simulere at det kan være begrenset plass i kuvøsebunnen slik at luftkanalen må designes og plasseres etter dette.



Figur 63: Et foreløpig design på luftkanal som leder luft fra vifta via kuvøseplaten og inn i kuvøsetoppen. På bildet til høyre er luftkanalen gjort delvis gjennomsiktig for å vise varmeelementets plassering. Varmeelementet er designet som en plate med dimensjoner 80x40x5 mm.



Figur 64: Luftkanalen leder lufta over og forbi varmeelementet. Den oppvarmede lufta ledes så videre inn i kuvøsetoppen. På figurene er det gjort et kutt for å vise frem de forskjellige tekniske komponentene, samt vifte og varmeelementets plassering. På bildet til venstre vises forslag til hvordan en luftfuktermodul og en batterimodul (i grønt) kan se ut (disse er hentet fra TIP300-prosjektet IncubAid).^[1]

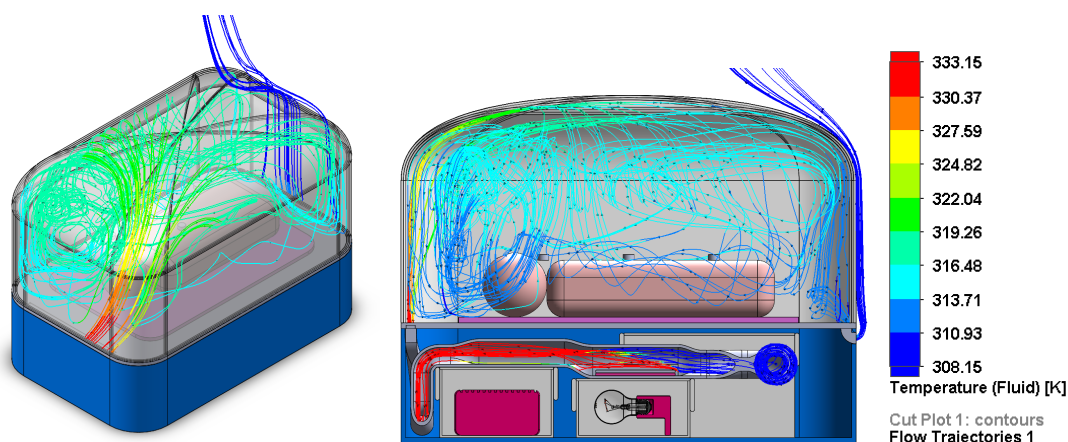
Resultater og vurderinger forsøk 1

Videre følger en tabell som sammenfatter resultatene oppnådd under forsøk 1.

Tabell 16: Resultater forsøk 1

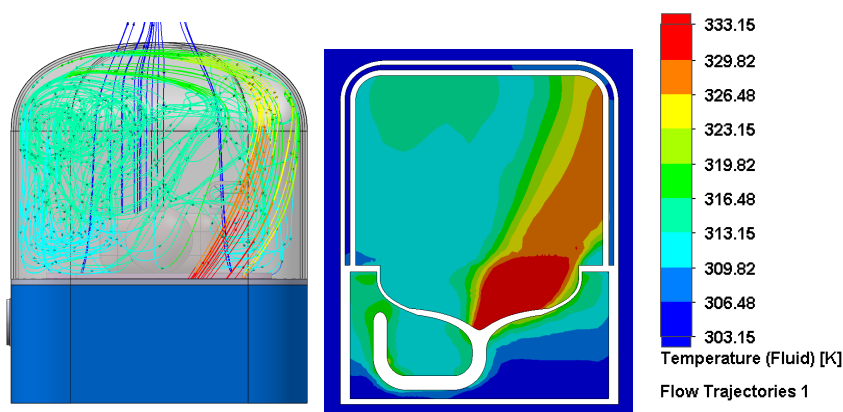
Måling	Verdi
Gjennomsnittstemperatur M	40,93 °C
Temperaturvariasjon ABCD-M	1,18 °C
Gjennomsnittstemperatur barn	42,15 °C
Temperaturvariasjon barn	2,75 °C
Volumstrøm levert fra vifte	40,93 l/min

Med oppsettet valgt i forsøk 1 og omgivelsestemperatur på 20 °C stabiliserte temperaturen seg inne i kuvøsen og rundt barnet på rett over 40 °C. Under forholdene leverte vifta en volumstrøm på 40 l/min. Litt betenkelig er det at luften holder en temperatur på rundt 60 °C idet den kommer inn i kuvøsen (se Figur 66). Selv om maks temperaturen rundt barnet kun er på 40 °C, er det noe skummelt med såpass varm luft strømmende inn rett ved barnet. Det vil også bli nødvendig å velge et noe større varmeelement. Dersom kuvøsen skal brukes på et sykehus med begrensede muligheter for oppvarming av rom, kan omgivelsestemperaturen være en del lavere enn 20 °C. Da blir det nødvendig med varmeelement med høyere effekt, og luftstrømmer som entrer kuvøsen vil da ha en enda høyere temperatur. En løsning på dette problemet vil være å resirkulere den varme lufta i større grad. Da kan effekten på varmeelementet reduseres mens gunstige temperaturer opprettholdes.



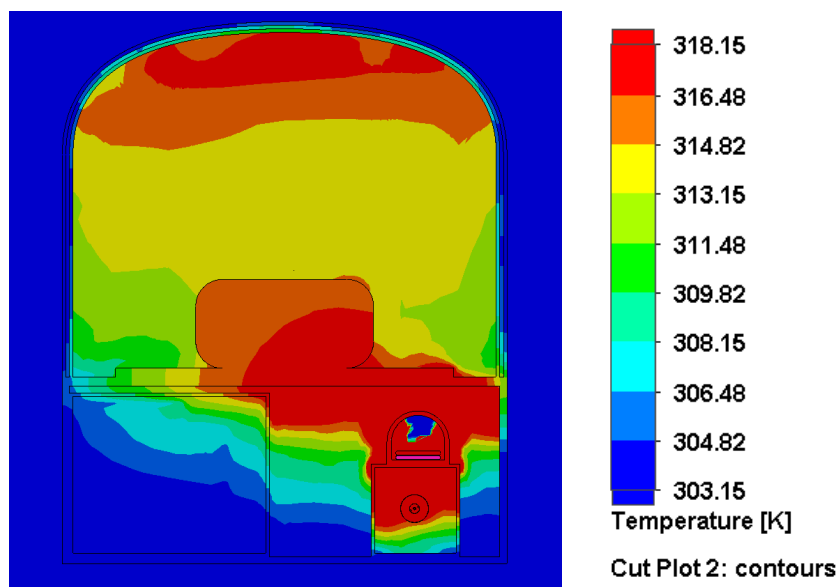
Figur 65: Strømningsbildet viser hvordan den oppvarmede luften entrer kuvøsen før den sirkuleres noe rundt og går ut i friluft på motsatt side av kuvøsen. Temperaturskalaen går fra 35-60 °C (308,15 K – 333,15 K). Mye av den oppvarmede luften går rett igjennom kuvøsen og ut i fri luft. Det hadde vært gunstig med noe mer sirkulasjon for å oppnå høyere gjennomsnittstemperatur inne i kuvøsen ved uendret effekt på varmeelementet.

Resultatene av forsøket viser også at temperaturen på den varme luften som entrer kuvøsetoppen ikke er godt fordelt:



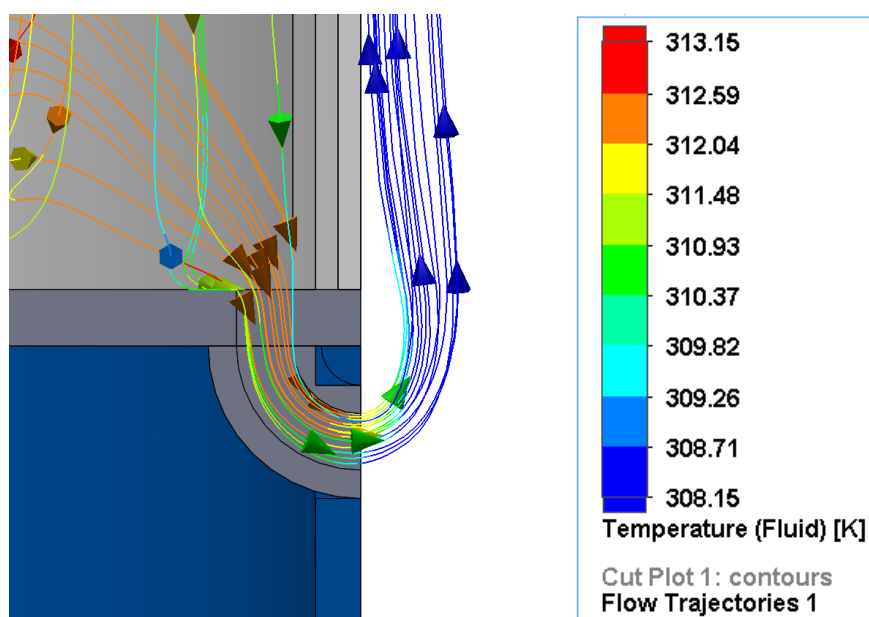
Figur 66: Plottet viser dårlig fordeling av varme og høye temperaturer på luften som entrer kuvøsetoppen. Den varme luften blir slynget ut til høyre i stedet for å fordele seg bedre og stige opp vertikalt. Temperaturskalaen går fra 30-60 °C (303,15-333,15K).

Temperaturvariasjonene i forsøk 1 er for høye. 1,18 °C og 2,75 °C for henholdsvis målepunktene (A, B, C, D og E) og barnets mage er for høye i forhold til det som er spesifisert for IncubAid-kuvøsen på 0,8 °C. I dette tilfellet skyldes dette trolig at barnet ble oppvarmet direkte av varmeelementet grunnet dårlig isolering i madrassen (se Figur 67).



Figur 67: Plottet viser hvordan varmeelementet varmer opp plate, madrass og modell av barn. Dette fører til at barnets mage får lokalt meget høye temperaturer. Temperaturvariasjonen på barnets mage blir derfor høy. Isolasjonsevnen til madrassen barnet ligger på bør bedres. Temperaturskalaen går fra 30-45°C.

Detaljbilde der luften går ut av kuvøsen:

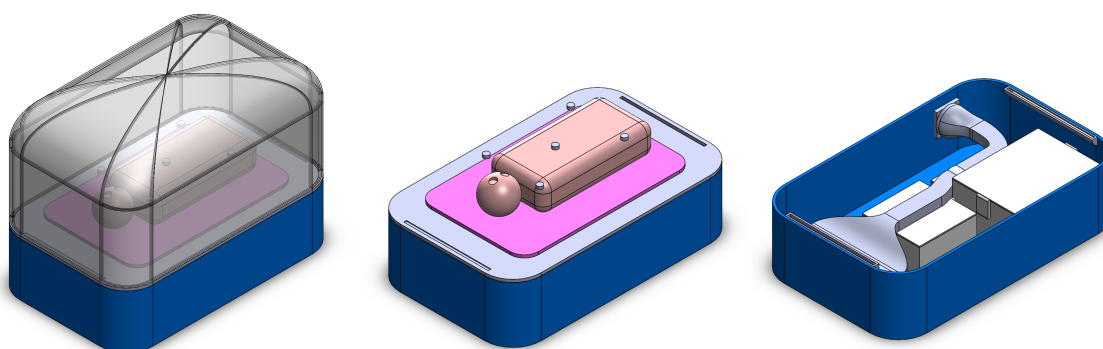


Figur 68: Plottet viser hvordan varm luft går ut ved kuvøsens utløp. Ideelt sett skal denne luften ha så lav temperatur som mulig slik at gjennomsnittstemperaturen i kuvøsen holdes så høy som mulig.

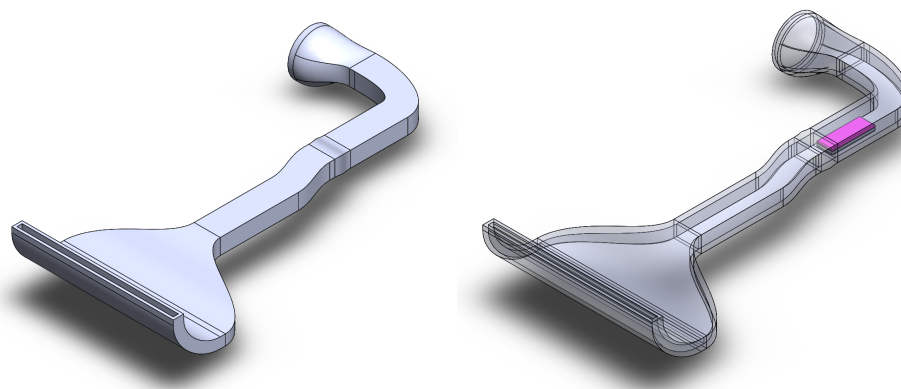
Modell forsøk 2

Basert på resultatene og erfaringene fra forsøk 1 ble et nytt design på luftkanalen som leder luften inn i kuvøsen utarbeidet. Målet var å oppnå en jevnere fordeling av temperaturen på luften som entrer kuvøsetoppen. I tillegg ble isolasjonsevnen til madrassen (rosa) økt slik at barnets temperaturer påvirkes av luften og ikke madrassen den ligger på.

Forsøket ble utført med 100 watts effekt på varmeelementet og turtallet på vifta var satt til 900 o/min (altså tilsvarende som forsøk 1).



Figur 69: Luftkanalens design er blitt optimert og redesignet. Utover dette er simuleringmodellen tilsvarende den som ble brukt i forsøk 1.



Figur 70: Luftkanalen har fått nytt design i håp om at dette skal bidra til bedre fordeling av temperaturen på luften som entrer kuvøsetoppen.

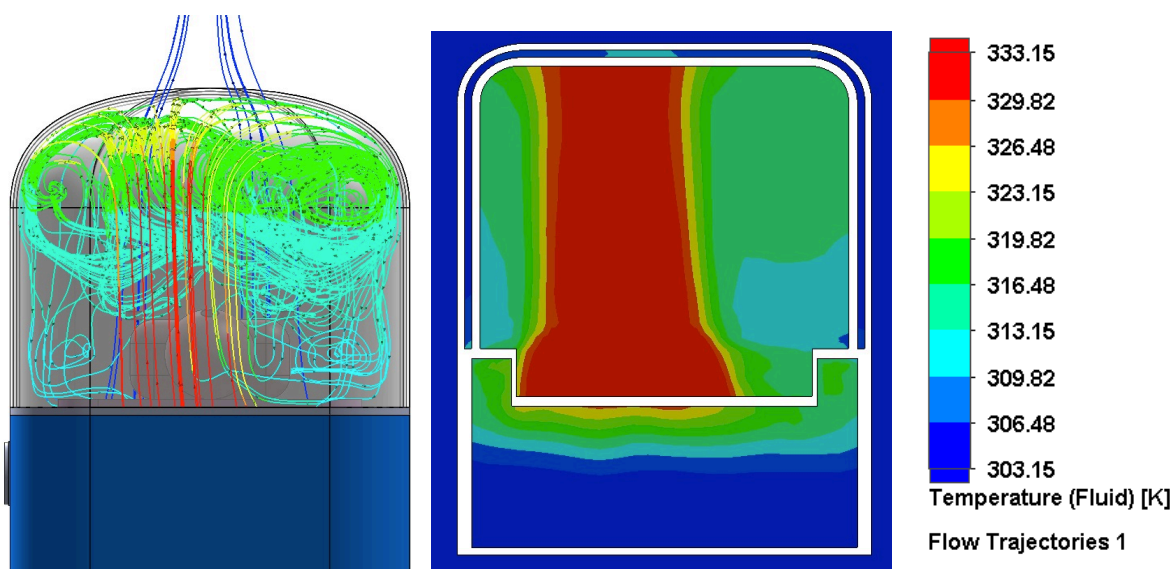
Resultater forsøk 2

Videre følger en tabell som sammenfatter resultatene oppnådd under forsøk 2.

Tabell 17: Resultater forsøk 2

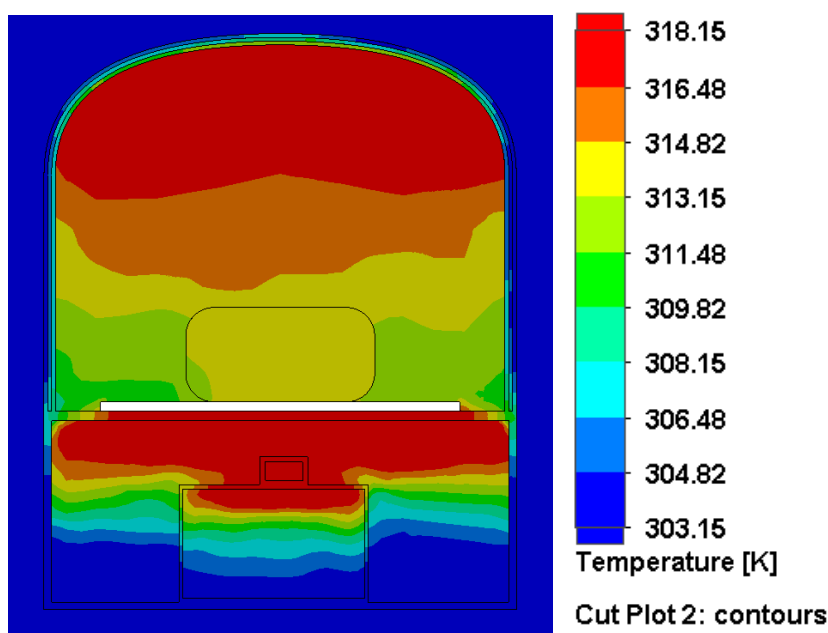
Måling	Verdi [°C]
Gjennomsnittstemperatur M	41,30
Temperaturvariasjon ABCD-M	1,39
Gjennomsnittstemperatur barn	40,18
Temperaturvariasjon barn	0,63
Volumstrøm levert fra vifte	34,95

Resultatet viser en forbedring i forhold til hvordan den oppvarmede luften strømmer inn i kuvøsen (se Figur 71). Temperaturen er bedre fordelt over åpningstverrsnittet. Som figurene viser er det fortsatt høy temperatur på lufta som strømmer inn i kuvøsen (høyere enn for forsøk 1). En luftstrøm på over 60 °C så nært barnets hode, er ikke en optimal løsning. Dessuten er temperaturvariasjonene registrert i standardens målepunkter(ABCDM) på 1,39 °C for høy i forhold til standardens krav og det som er spesifisert for IncubAid-kuvøsen.



Figur 71: Temperaturfordelingen på lufta som strømmer inn i kuvøsen. Temperaturskalaen går fra 30-60 °C (303,15–333,15K), der røde områder viser temperaturer på rundt 60 °C eller varmere.

Madrassen som ble omgjort til en isolator (veldig høy isoleringsevne) bidrar til at barnets oppvarming skjer fra lufta som omgir barnet og ikke fra madrassen barnet ligger på:



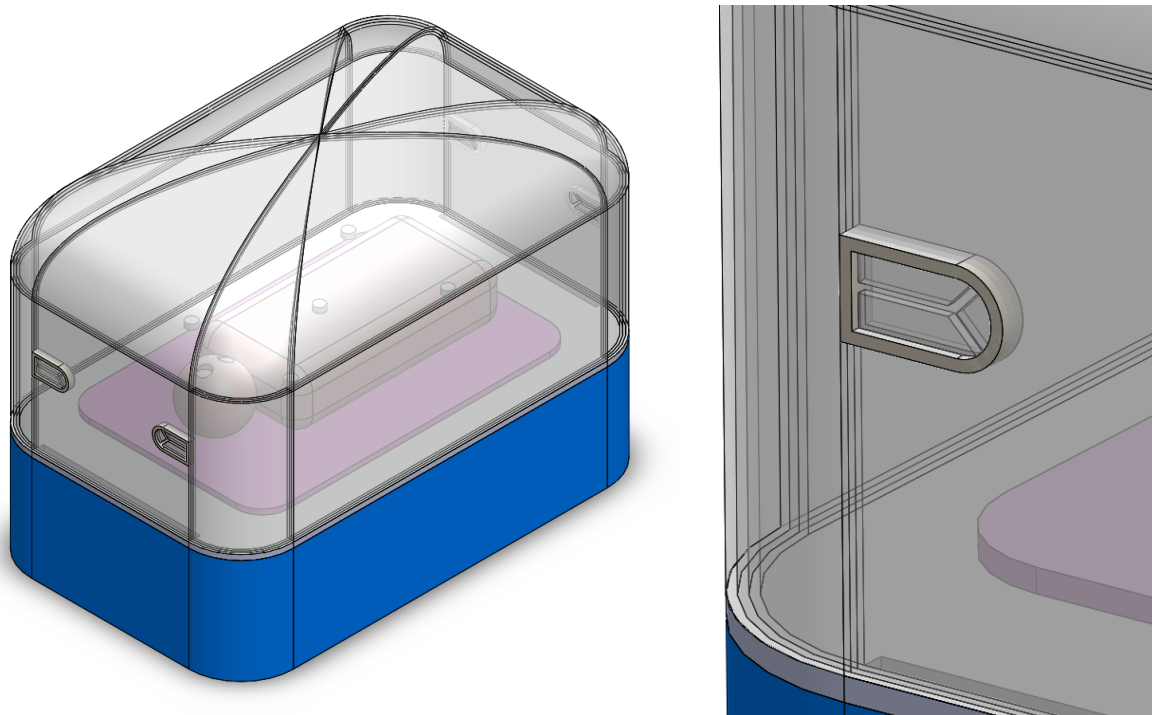
Figur 72: Plottet viser hvordan temperaturfordelingen er over et kutt gjort mitt i kuvøsen. Temperaturen på barnet påvirkes kun av lufta. Plottet viser hvordan varm luft ligger øverst i kuvøsen. Optimalt sett skulle temperaturene vært fordelt enda bedre.

Forsøk nummer 3

Forsøk 1 og 2 ga gode erfaringer og viste en del problemområder (store temperaturvariasjoner, høy innløpstemperatur) som måtte løses. En grundig jobb ble gjort i å kartlegge eksisterende kuvøser funksjon og tekniske løsninger. Dagens kuvøser er ikke hermetisk tette. De har ikke noe definert utløp slik som er blitt simulert i forsøk 1 og 2. Kuvøsen har heller små åpninger der lufta kan sige ut. Spesielt gjelder dette i gjennomføringene i kuvøsetoppen. Kuvøsene har ett innløp der vifta drar inn frisk luft, og ingen direkte utløp for å lede lufta ut. På denne måten blir det en bedre resirkulasjon av lufta inne i kuvøsen.

Forsøk nummer 4 skal implementere denne løsningen og simulere dette. Forhåpentligvis vil dette føre til bedre sirkulering av den varme lufta slik at høyere gjennomsnittstemperaturer oppnås. Videre kan da effekten på varmeelementet nedjusteres. Dette vil igjen føre til at lufta som strømmer inn i kuvøsen kan holde noe lavere temperatur (under 60 °C som i forsøk 1 og 2).

Modell forsøk nummer 3

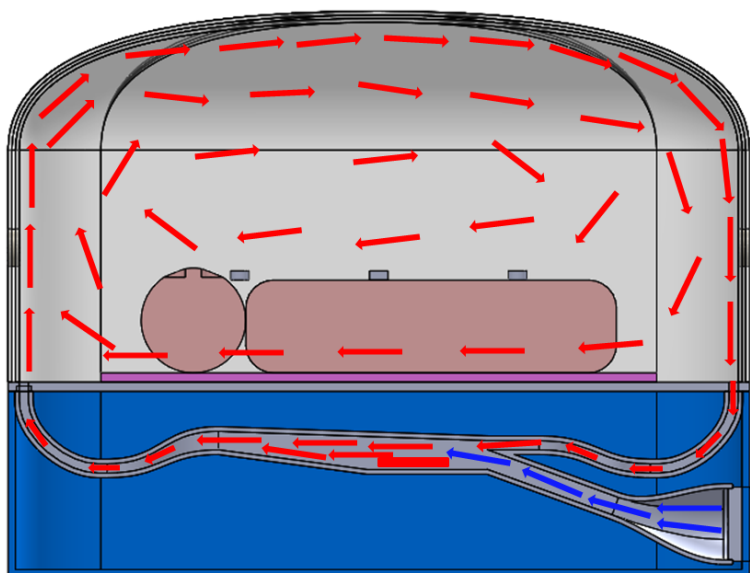


Figur 73: Modellen brukt i forsøk nummer 3. Her er det ingen definerte utløp annet enn 4 gjennomføringer som er plassert på kuvøsens kortvegger. Gjennomføringene brukes til å føre kabler og ledninger inn i kuvøsen. Gjennomføringene har 1 mm åpning der lufta kan sige ut, slik at det ikke blir en trykkoppbygning inne i kuvøsen. Bildet til høyre viser et nærbilde av en av gjennomføringene.

Målet med designet i forsøk 3 er å få en bedre sirkulering av lufta, der den oppvarmede lufta som kommer inn i kuvøsetoppen skal sirkuleres ut av utløpet og inn i kuvøsebunnen igjen. Der skal den blandes med friskluft fra vifta og sammen skal dette varmes opp av varmeelementet før det sendes inn i kuvøsen igjen. På denne måten blir volumstrømmen inn i kuvøsen større. Det vil komme større mengder med varm luft inn i kuvøsen. Ønskede gjennomsnittstemperaturer rundt barnet kan

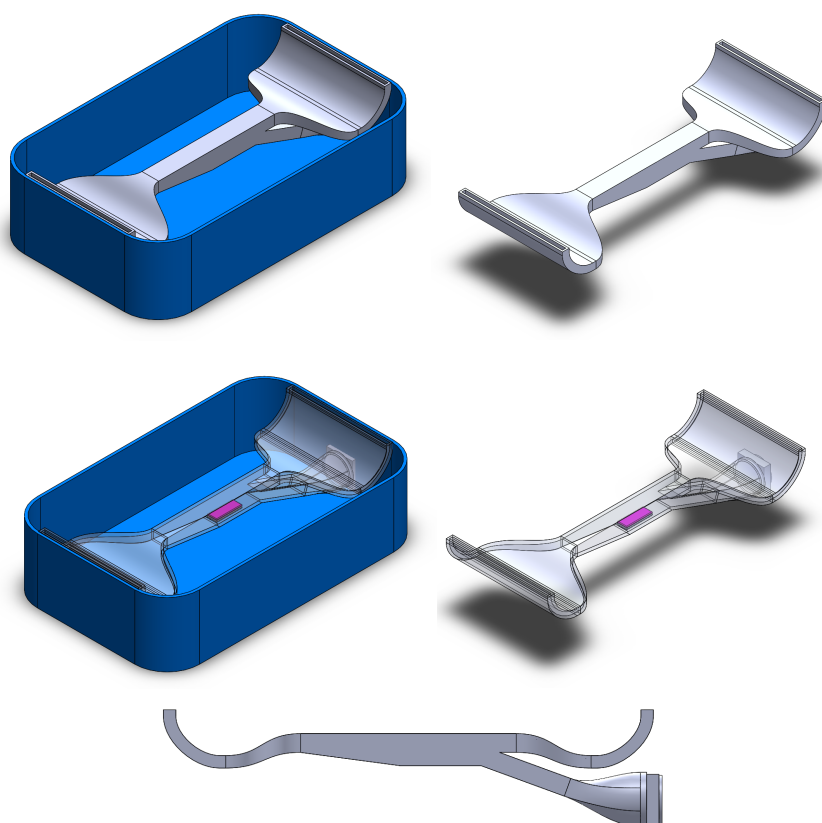
dermed oppnås med lavere total temperatur på lufta som strømmer inn i kuvøsen. Ønsket volumstrømsfordeling blir som følger:

$Q_{vifte} = Q_{ut}$ og $Q_{innløp} = Q_{vifte} + Q_{utløp}$, der $Q_{utløp}$ representerer den volumstrømmen som resirkuleres.



Figur 74: Figuren viser prinsippet med resirkulering av luft ned i kuvøsebunnen for å varmes opp av varmeelementet. Deler av den oppvarmede lufta sendes ned i kuvøsebunnen og blir oppvarmet på ny.

Videre følger modell av kuvøsebunnen og luftkanalen brukt i forsøk nummer 3:



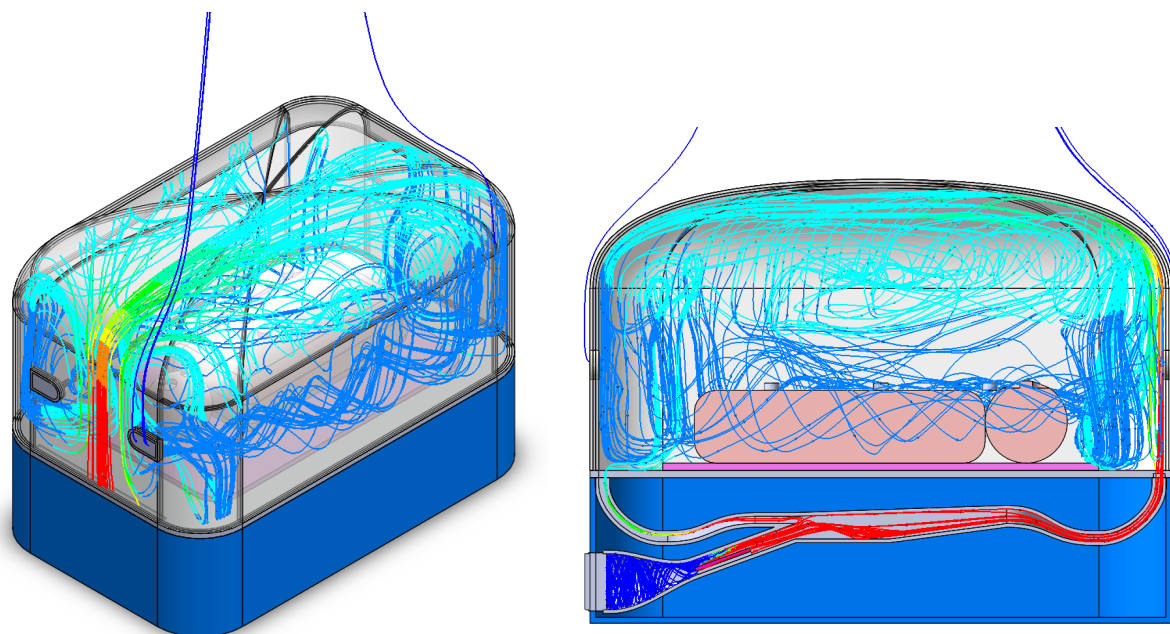
Figur 75: Figuren viser designet på den nye luftkanalen. Vifta er plassert under kanalen og pumper luft inn i kanalen og videre inn i kuvøsen. Viftas plassering er valgt i håp om at den skal kunne klare å sirkulere lufta slik at lufta som er inne i kuvøsen skal ledes ned i åpningen rett over vifta, for deretter å ledes forbi varmeelementet (markert i rosa) sammen med friskluften fra vifta.

Resultater forsøk 3

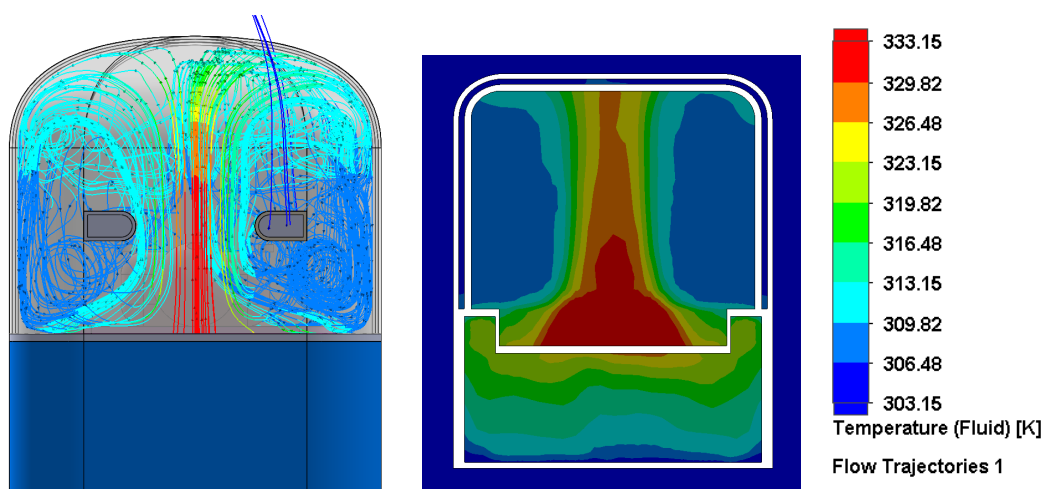
Tabell 18: Resultater forsøk 3

Måling	Verdi
Gjennomsnittstemperatur M	36,37 °C
Temperaturvariasjon ABCD-M	0,44 °C
Gjennomsnittstemperatur barn	36,25 °C
Temperaturvariasjon barn	0,36 °C
Volumstrøm levert fra vifte	20,94 l/min

Resultatene viser en stor bedring med tanke på variasjon i temperaturer. Disse ligger nå godt innefor 0,8 °C, som er spesifisert for IncubAid-kuvøsen.. Gjennomsnittstemperaturen er noe lavere sammenlignet med de tidligere forsøkene. Målet er å nå 39 °C som ble spesifisert som ytelse for IncubAid-kuvøsen (Tabell 11). Den noe lave gjennomsnittstemperaturen skyldes at kald friskluft sendes direkte inn i kuvøsen uten å passere varmeelementet. Dette designet fungerer altså ikke helt som ønsket og resirkuleringen av luft forbi varmeelementet uteble.



Figur 76: Strømningsmønsteret i kuvøsen. Vifte trekker inn kald friskluft før denne varmes opp av varmeelementet og sendes videre inn i kuvøsen. Resirkuleringseffekten uteble og vifte sender friskluft opp av begge åpningene i kuvøsen. Temperaturskalaen på figurene er tilsvarende som for Figur 77 (30-60°C)

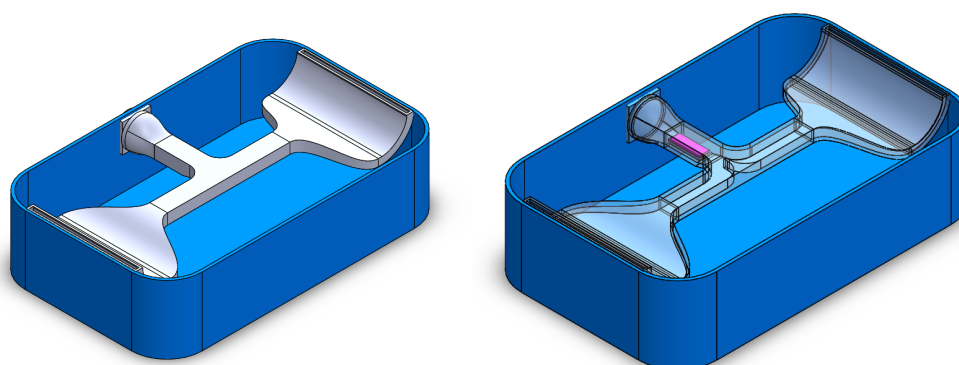


Figur 77: Fordelingen av varmluft er god, men fortsatt er det en noe uønsket varm luftstrøm som entrer kuvøsen. Temperaturskalaen går fra 30-60 °C.

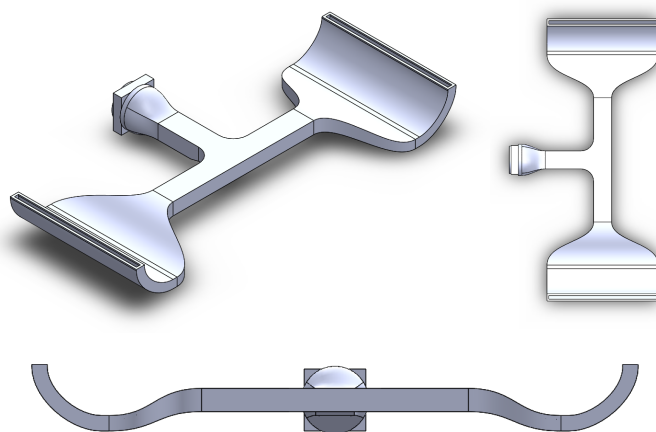
Forsøk 4

Forsøket på å resirkulere luft via varmeelementet har ikke vist seg å fungerte. Forrige forsøk ga gode resultater, en økning i varmeelementets effekt ville gitt ønskelige gjennomsnittstemperaturer inne i kuvøsen. Det ville trolig også ført til økt temperatur på luften som strømmer inn i kuvøsen, noe som ikke er ønskelig.

I forsøk 6 er luftkanalen designet slik at forholdsvis likt fordelt volumstrøm skal strømme inn i kuvøsetoppen gjennom begge innløpene. Målet med forsøket er å oppnå gode miljøparameterresultater samtidig som luften som strømmer inn i kuvøsen holder lavere temperatur enn for de tidligere forsøkene. Måten dette skal gjøres på er å gi opp målet om å resirkulere lufta. Nå skal den oppvarmede frisklufta fordeles jevnt mellom de to åpningene i kuvøseplata. Begge disse blir altså innløp. Forhåpentligvis vil dette resultere i lavere maksimumstemperatur på luften som strømmer inn i kuvøsen. Temperaturen blir kanskje like høy akkurat ved åpningen, men volumstrømmene per innløp blir mindre og temperaturen på luften vil falle til akseptable (50 °C) nivåer raskt.



Figur 78: Kuvøsebunnen med luftkanaler, varmeelement og vifte. Varmeelementet er en varmeplate. Denne er farget rosa på figuren. Viften sitter i nederst på kortveggen til høyre på bildene.



Figur 79: Det endelige designet på luftkanalen. Kanalen er designet med mål om å fordele lik mengde luft til hvert av innløpene til kuvøsetoppen.

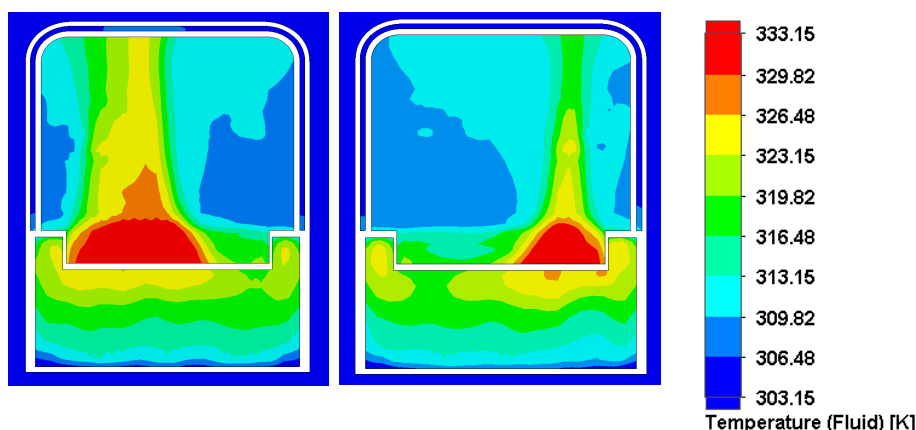
Resultater forsøk 4

I forsøk 4 er turtallet på Papst-vifta økt fra 900 o/min til 1500 o/min og varmeelementets effekt satt til 100 watt. Utover dette er forsøk 4 helt identisk med forsøk 3. Vifta i forsøk 6 produserte en noe lav volumstrøm. En høyere volumstrøm vil kunne gi høyere gjennomsnittstemperatur med samme effekt.

Tabell 19: Resultater forsøk 4

Måling	Verdi
Gjennomsnittstemperatur M	37,83 °C
Temperaturvariasjon ABCD-M	0,56 °C
Gjennomsnittstemperatur barn	37,66 °C
Temperaturvariasjon barn	0,29 °C
Volumstrøm levert fra vifte	28,72 l/min

Forsøket gir meget gode resultater! Temperaturvariasjonen er godt under 0,8 °C for både målepunktene og på barnets mage. Gjennomsnittstemperaturen er høy, men noe lavere enn ønsket temperatur på 39 °C. Under bruk av kuvøsen vil sjelden temperaturen behøve å være over 37 °C. Plottet i Figur 80 viser i tillegg at forsøket har noe lavere temperaturer inne i kuvøsen.



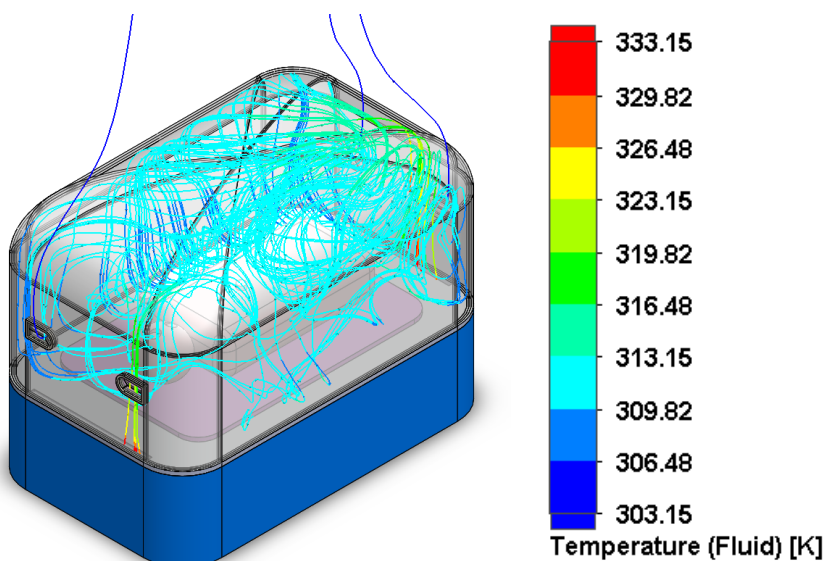
Figur 80: Temperaturfordelingen på lufta som strømmer inn i kuvøsen. Temperaturskalaen går fra 30-60 °C (303,15–333,15K). Det venstre plottet er fra åpningen ved barnets ben. Høyre plottet er fra åpning ved barnets hode.

Temperaturen inne i kuvøsen er også mer jevnt fordelt:



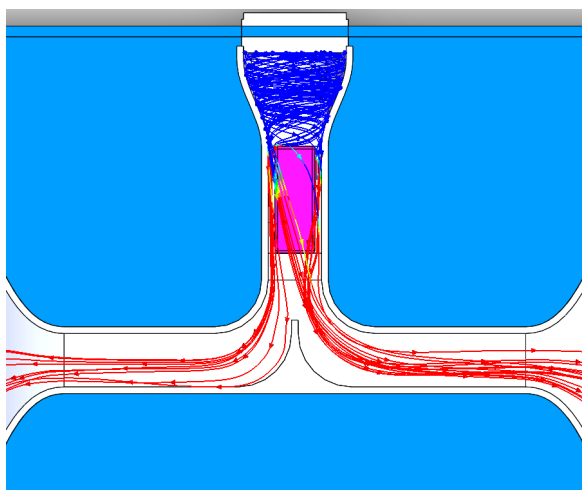
Figur 81: Plottet viser en jevn temperaturfordeling inne i kuvøsen. Plottet er gjort midt i kuvøsens lengderetning. Temperaturskalaen går fra 30-60 °C (303,15–333,15K). Omtrent hele tverrsnittet som er plottet ligger i det grønne området som strekker seg fra 36,7 – 38,3 °C (309,82-311,48 K) på skalaen. Forsøk 4 viser mye jevnere fordeling av temperaturen inne i kuvøsen sammenlignet med forsøk 2 (Figur 72).

Videre følger et plott av strømningsbildet inne i kuvøsen under forsøk 4:



Figur 82: Figuren viser strømningsmønsteret inne i kuvøsen. Dette er noe kaotisk, trolig på grunn av åpning i begge ender av kuvøsen (Uten at det er av betydning). Plottet bekrefter de gode temperaturfordelingene. Omtrent hele strømningsbildet ligger i den turkise delen av skalaen som strekker seg fra 36,7-40 °C (309,82-313,15 K).

Videre følger et detaljbilde av luftinntaket der viften sender luft forbi varmeelementet:



Figur 83: Detaljbilde viser hvordan kald friskluft (blå linjer) pumpes inn av viften, blir oppvarmet (røde linjer) og strømmer videre i luftkanalen. Luftkanalen har et design som prøver å fordele like mye luft til hver av åpningene. Plottet viser for øvrig av at det går en høyere volumstrøm mot det høyre innløpet (beinsiden til barnet). Dette bekreftes også av plottene i Figur 80. Her er det noe optimeringspotensiale på designet.

Forsøk 5

Forsøk 4 ga meget gode resulater for IncubAid-kuvøsen. Gjennomsnittstemperaturen var ikevel noe lav. Det er ønskelig at denne skal kunne ligge på opptil 39 °C. På grunn av dette gjennomføres forsøk 5 med effekten på varmeelementet satt til 120 W.

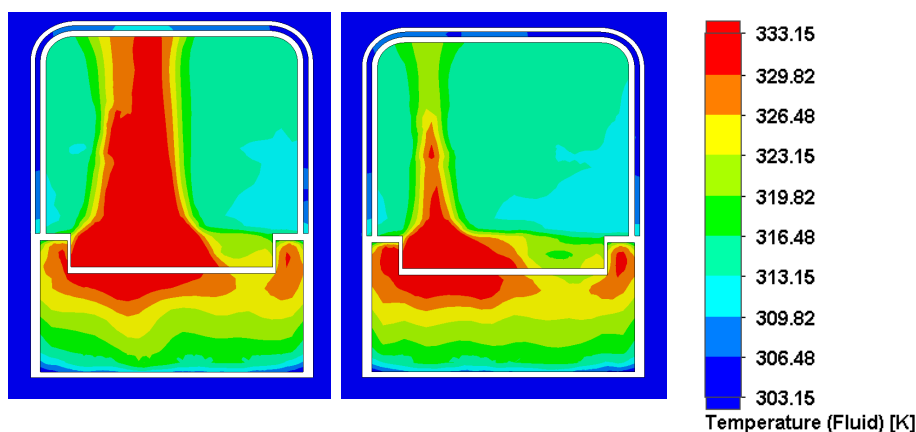
Resultater forsøk 5

Tabell 20: Resultater forsøk 5

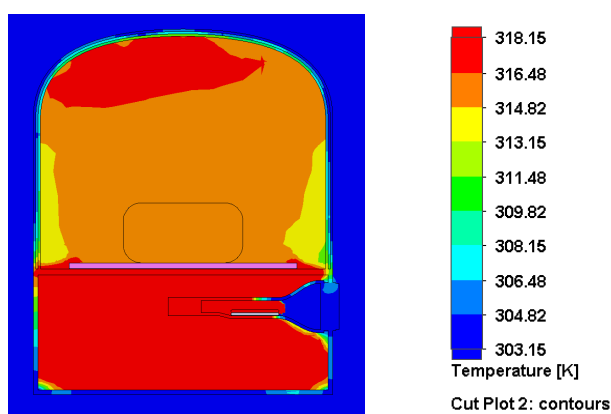
Måling	Verdi
Gjennomsnittstemperatur M	41,73 °C
Temperaturvariasjon ABCD-M	0,69 °C
Gjennomsnittstemperatur barn	41,55 °C
Temperaturvariasjon barn	0,45°C
Volumstrøm levert fra vifte	29,70 l/min

Med 120 watts effekt på varmeelementet oppnås tilfredstillende gjennomsnittstemperaturer. Disse er godt over 39 °C som var målet. Temperaturvariasjonene er også innenfor standardens krav.

Den høye gjennomsnittstemperaturen førte også til at temperaturen på lufta som strømmer inn i kuvøsen ble ganske høy. Men dette er med så høye gjennomsnittstemperaturer som kuvøsen aldri kommer til å operere med. Dessuten viser Figur 85 en god temperaturfordeling inne i kuvøsen.



Figur 84: Temperaturfordelingen på lufta som strømmer inn i kuvøsen. Temperaturskalaen går fra 30-60 °C (303,15–333,15K). Det venstre plottet er fra åpningen ved barnets ben. Høyre plottet er fra åpning ved barnets hode.



Figur 85: Plottet viser en meget jevn temperaturfordeling inne i kuvøsen. Plottet er gjort midt i kuvøsens lengderetning.

Temperaturskalaen går fra 30-60 °C (303,15–333,15K). Omtrent hele tverrsnittet som er plottet ligger i det oransje området som strekker seg fra 41,7 - 43,3 °C (314,82-316,48 K) på skalaen.

Forsøk 6

I forsøk 6 er omgivelsestemperaturen senket fra 20 °C til 10 °C. Det er ønskelig at IncubAid-kuvøsen skal kunne benyttes på sykehus med forskjellige standarder og i ulike land med forskjellig klima. Derfor testes nå kuvøsens ytelser med 10 °C som omgivelsestemperatur. Etter flere delforsøk er varmeelementets effekt blitt økt til 170 watt. Dette er gjort for å klare å oppnå høye nok temperaturer når omgivelsestemperaturen er såpass lav. For forsøk 6 vil resultatene kun bli presentert i tabellform.

Resultater Forsøk 6

Tabell 21: Resultater forsøk 6

Måling	Verdi
Gjennomsnittstemperatur M	40,05 °C
Temperaturvariasjon ABCD-M	0,98 °C
Gjennomsnittstemperatur barn	39,67 °C
Temperaturvariasjon barn	0,84 °C
Volumstrøm levert fra vifte	30,00 l/min

Resultatene viser at IncubAid-kuvøsen kan levere høye nok gjennomsnittstemperaturer ved 10 °C omgivelsestemperatur med et 170 watts varmeelement. Temperaturvariasjonene er forholdsvis store, men dette er under ekstreme forhold og

noe høyere temperaturer enn det som er spesifisert for InkubAid-kuvøsen. Standarden stiller ingen krav til kuvøser under slike forhold.

Resultatoppsummering trinn 3 av simuleringene

Forsøk 1-6 var en trinnvis prosess der erfaringene fra forrige simulering bidro til forbedring og optimering av design på luftkanaler, og spesifisering og plassering av vifte og varmelement. Forsøk 4 ga meget gode resultater. Med valgt vifte på 1500 o/min og varmeelementet med 100 watts effekt var ga forsøket tilfredstillende resultater for normal drift av kuvøsen. Det var likevel nødvendig å øke varmeelementets effekt. Dette for å nå målet om muligheten for å operere med temperaturer helt opp til 39 °C. Forsøk 5 viste at en effekt på 120 watt på varmeelementet var tilstrekkelig for å oppnå dette.

Luftkanalen som splittet lufta fra vifta og sendte denne inn i kuvøsen via begge åpningene på kuvøseplatens kortsider var helt klart det luftkanaldesignet som ga de beste resultatene (forsøk 4-6).

Forsøk 6 ble brukt til å verifisere den foreløpige løsningens evne til å gi gode resultater også dersom omgivelsestemperaturen ble senket fra 20°C til 10 °C. Resultatet av forsøk 6 viste at varmeelementet måtte økes fra 120 til 170 watt.

Andre nyttige erfaringer fra trinn 3 av simuleringene:

- Viktigheten av designet på luftsjakten i kuvøsebunnen for å få jevnt fordeling av luften inn i kuvøsen. Forsøkene har også vist hvor vanskelig dette er.
- Det blir varmt i kuvøsebunnen. Det er derfor behov for isolerende materialer mellom barnet og kuvøsebunnen.

Valg av foreløpig løsning

For å ta høyde for noe usikkerhet i simuleringene velges et varmeelement på 200 watt. Dette varmeelementet og Papst 8412 NGLV vifte vil nå blir testet i trinn 4 av simuleringene. Løsningen vil bli testet i forhold til total oppvarmingstid i trinn 4 av simuleringene.

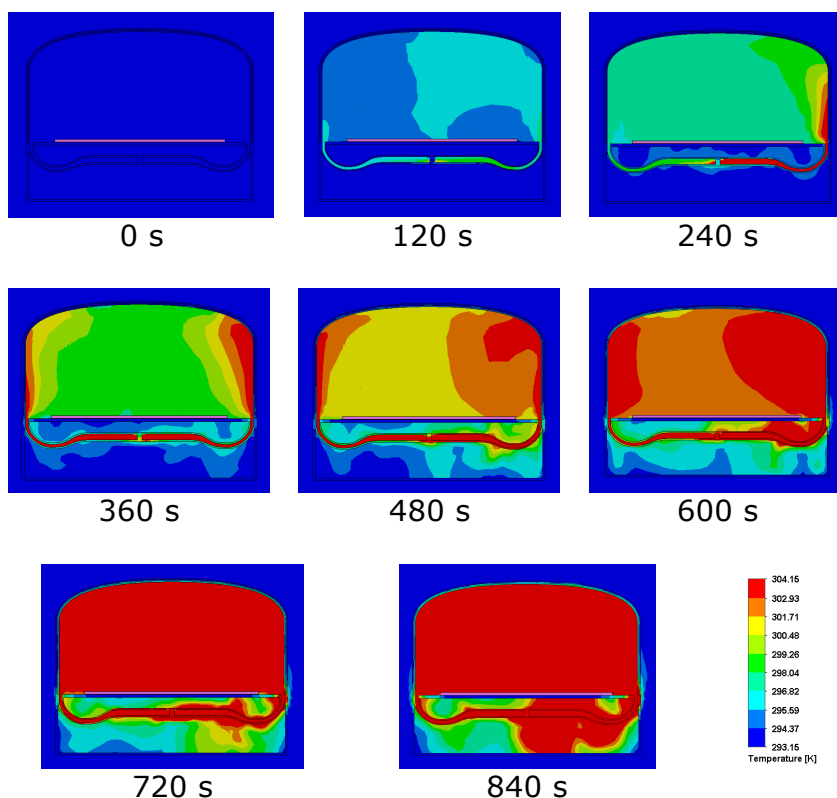
9.4 Trinn 4 av simuleringene, endelig verifikasjon av design

Trinn 4 av simuleringene brukes til å bestemme oppvarmingstiden til kuvøsen. Det skal utføres en tidsavhengig analyse på det endelige designet med de valgte komponentene. Den tidsavhengige simuleringen brukes til å verifisere spesifikasjonene til de valgte komponentene. I Tabell 11 ble IncubAid-kuvøsens oppvarmingstid spesifisert: Oppvarming fra 20-31 °C skal gjennomføres på maksimalt 20 minutter. Simuleringsoppsettet er identisk med forsøk 4-6 i trinn 3 av simuleringene. Varmeelementets effekt var satt til 200 watt, og viftens turtall 1500 o/min.

Tidsavhengige analyser er meget tids- og kapasitetskrevede. Det ble derfor nødvendig å overstyre det automatisk styrte "steget" i simuleringene for å øke simuleringshastigheten. Steget ble økt til 10 sekunder pr steg. Dette kan potensielt sett resultere i meget unøyaktige resultater. Resultatene under trinn 4 må derfor sees mer som interessant lesning enn et holdbart resultat.

Videre følger en bildeserie bestående av temperaturplott gjort hvert 120. sekund fra 0-720 sekunder. Temperaturskalaen går fra 20-31 °C. Det blå bildet på 0 sekund holder 20 °C mens etter plottet 840 sekunder holder hele plottverrsnittet 31 °C.

Dette bekrefter at et 200 watts varmeelement er tilstrekkelig for også å nå det spesifiserte kravet til oppvarmingstid.



Figur 86: Bildeserie som viser hvordan temperaturen i kuvøsen utvikler seg over tid: Fra 20 °C ved 0 sekunder til 31°C (304,15 K) ved 840 sekunder (14 minutter).

9.5 Ekstern screening

Det er blitt utført en ekstern screening i forhold til IncubAid-kuvøsens konsept.

En mail ble sendt til Netsanet Workneh (MD, DTM&H)^[6] som har tittel "Head, Department of Pediatrics and Child Health" ved Jimma University i Etiopia. Følgende spørsmål ble stilt og besvart:

Question 1: Would you say there is a need for developing new incubators suited for your hospital?

Answer: Yes there is a need, as the incubators found on the market are expensive, difficult to maintain and inaccessible.

Question 2: What would be important to consider when developing these incubators? (example: low price, easy maintenance, simple to use)

Answer: Yes, all of the mentioned examples.

Question 3: What is the problem/shortcoming with the incubator available on the marked today?

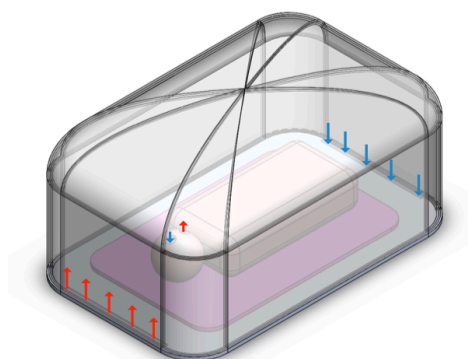
Answer: Inaccessible, difficult to maintain (it doesn't resist the environmental condition, humidity and the electricity interruption), and expensive."

Dr. Netsanet bekrefter med dette behovet for den type kuvøser som IncubAid-kuvøsen representerer.

10 Løsningsvalg

Den endelige løsningen bidrar til at kuvøsemiljøet tilfredsstillende standardens krav til temperatur, temperaturfordeling og oppvarming. Kuvøsen bidrar til et miljø som er tilpasset det premature barnets behov.

Det valgte designet er det optimerte design 1 fra trinn 2 av simuleringene (for fullstendige mål og dimensjoner på valgt løsning se Vedlegg 3):

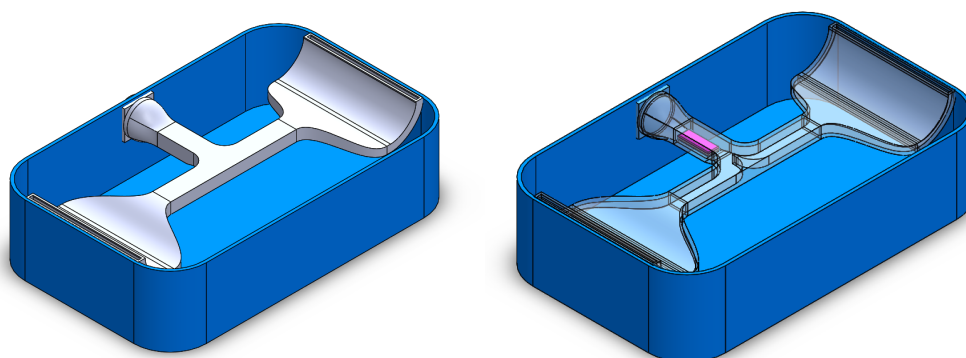


Figur 87: Valgt design på kuvøsetoppen er optimert design 1 fra trinn 2 av simuleringene.

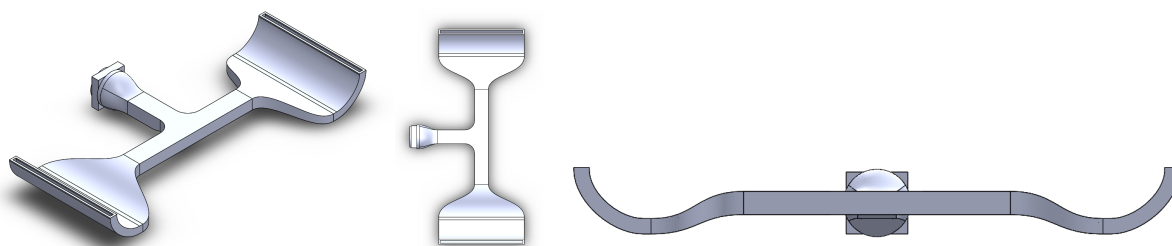
Kuvøsetoppen består av 2 x 4mm doble vegger. Kuvøsetoppens buede design og doble vegger har gode termiske og strømningsrelaterte egenskaper. Det buede designet er også ideelt for rengjøring og desinfisering. Enkel og effektiv rengjøring er en viktig egenskap for en kuvøse. Spisse kanter kan være krevende å få rene. Kuvøsetoppen har ingen spisse kanter der urenheter kan feste seg.

De rette sidene på nederste halvdel av kuvøsetoppen gjør tilpasning av luker og gjennomføringer enklere og rimeligere sammenlignet med buede vegger. De rette sidene gjør også at kuvøsebunnen kan tilpasses kuvøsetoppen på en slik måte at kuvøsebunnen kan legges delvis inne i kuvøsetoppen. Dette vil bidra til en mer kompakt forpakning av kuvøsen når denne skal fraktes.

Et forslag til kuvøsebunnens luftkanaler har også blitt designet og testet. Det valgte designet bidrar til gode resultater og riktige verdier på miljøparameterne.



Figur 88: Kuvøsebunnen med luftkanaler, varmeelement og vifte. Varmeelementet er en varmeplate. Denne er farget rosa på figuren. Viften sitter i nederst på kortveggen til høyre på bildene.



Figur 89: Det endelige designet på luftkanalen. Kanalen er designet med mål om å fordele lik mengde luft til hvert av innløpene til kuvøsetoppen.

Den valgte viften er en Papst8412 NGLV. Denne kan kjøres med et turtall mellom 900 og 1500 o/min og vil levere riktige mengder luft til kuvøsetoppen der det premature barnet ligger. Viften er meget stillegående (<12 dB). Kuvøsen vil dermed gi svært lite støy og bidra til et rolig og stille miljø for barnet.

Varmeelementet er et plateelement på 200 watt. Det vil være nødvendig med justeringsmulighet av varmeelementets effekt. Ved normal kjøring i 20 °C omgivelsestemperatur vil 100 watt være tilstrekkelig for å opprettholde et korrekt miljø på rundt 37°C. Ved 10 °C er det nødvendig at varmeelementet leverer opp mot 170 watt.

Kuvøsetopp og kuvøsebunn skal produseres i polykarbonat. Polykarbonat har gode termiske egenskaper. Det har også god styrke, høy strekkfasthet og bruddseighet sammenlignet med andre plast-typer. Glassklarheten er høy, dette er viktig for at sykehuspersonell skal kunne se barnet godt. Polykarbonat er selvslukkende dersom det skulle ta fyr. Det er også lite giftig og et mye brukt materiale i legemiddel-industrien.

Videre følger en tabell som oppsummerer den valgte løsningens ytelser. Resultatene er fra forsøk 4-6 trinn 3 av simuleringene og viser kuvøsens ytelser når varmeelementet yter 100 og 120 watt ved 20 °C omgivelsestemperatur, samt 170 watt ved 10 °C omgivelsestemperatur. I alle tre tilfellene er viftens turtall 1500 o/min. Den maksimale strømningshastigheten er også vist i tabellen.

Tabell 22: Skjematisk oppsummering av resultater som viser den valgte løsningens ytelser ved forskjellige effekter og omgivelsestemperaturer. Strømningshastighetene er også presentert. Disse kan være noe unøyaktige, ettersom de ikke har blitt valgt som mål for konvergens (se Vedlegg 2.5(CD) for fullstendige resultater):

Måling	100W (20 °C)	120W (20 °C)	170W (10 °C)
Gjennomsnittstemperatur M	37,83 °C	41,73 °C	40,05 °C
Temperaturvariasjon ABCD-M	0,56 °C	0,69 °C	0,98 °C
Gjennomsnittstemperatur barn	37,66 °C	41,55 °C	39,67 °C
Temperaturvariasjon barn	0,29 °C	0,45°C	0,84 °C
Volumstrøm levert fra vifte	28,72 l/min	29,70 l/min	30,00 l/min
Strømningshastighet	0,10 m/s	0,11 m/s	0,13 m/s

Den valgte løsningens ytelser tilfredsstillende de verdier som ble spesifisert for IncubAid-kuvøsens miljøparametere. Strømningshastigheten ved 120 og 170 W er marginalt større enn den spesifiserte maksimalverdien på 0,1 m/s. Under normal drift vil 100 W effekt være tilstrekkelig og da er strømningshastigheten på under 0,1 m/s (0,098

m/s). Dessuten er alle strømningshastighetene langt under kravet til IEC-standarden på 0,35 m/s.

10.1 Sikkerhet

Ved videreutvikling av kuvøsen er sikkerhet et punkt som bør tillegges ekstra fokus. IEC-standarden definerer en del punkter som omhandler sikkerheten til det premature barnet.

Testing av prototype og endelig produkt

Kuvøsens hovedoppgave er å øke sjansen for overlevelse for premature barn. Sikkerhet er derfor viktig. En prototype av kuvøsen må gjennomgå et strengt testregime for å kartlegge hvorvidt kuvøsen bidrar til økt sjanse for overlevelse for barnet. Barnets sikkerhet i kuvøsen må også testes.

Metoder for testing:

- Spesialutviklet testutstyr for kuvøser: Det finnes i dag spesialdesignet testutstyr for testing av kuvøser. Datrend Incutest tester etter IEC standarden. I Norge er det Secma AS som kan levere Incutest. Ifølge Secma AS er veiledende pris på Incutest 61900 NOK.^[50]



Figur 90: Datrend Incutest. Komplettestanordning for kuvøser. Figuren viser Incutest produktet (den sorte anordningen midt på bildet) plassert inne i en åpen kuvøse. Bildet er hentet fra www.datrend.com.^[51]

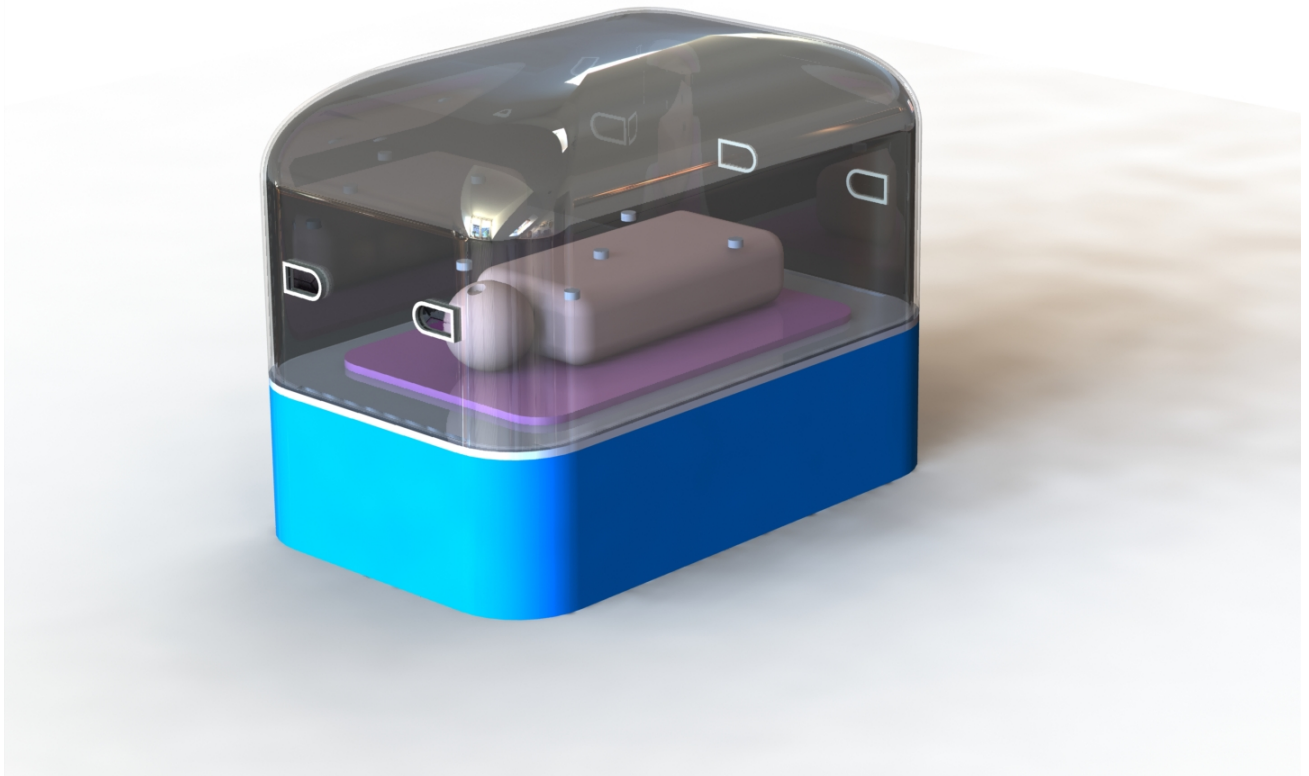
- Bygge eget testutstyr med sensorer og måleutstyr. Dette kan bygges for å teste kravene gitt i standarden. I standarden står det nøye beskrevet hvordan hver test skal gjennomføres.

10.2 Styring

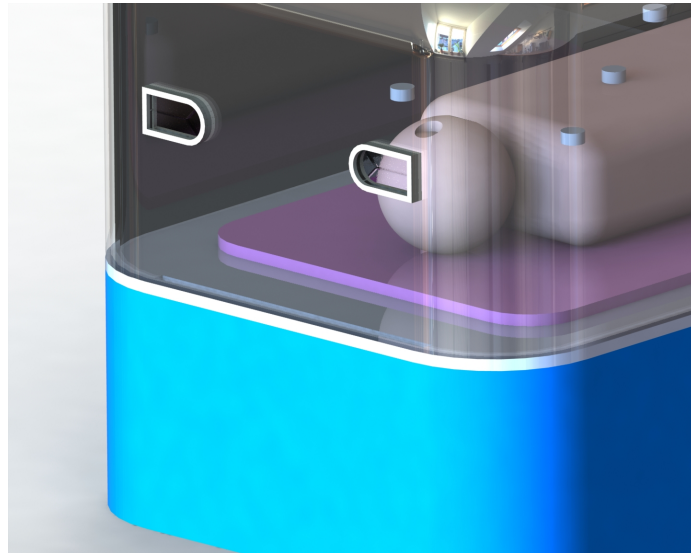
For å oppnå ideelle verdier for de forskjellige miljøparameterne bør det brukes reguleringsteknikk. Reelle verdier for temperatur, luftfuktighet, oksygen og ventilasjon må måles med sensorer inne i kuvøsen. Kuvøsens styringspanel brukes til å angi en referanseverdi (ønsket verdi). Differansen mellom reelle/målte verdier og referanseverdier utlignes ved hjelp av en PID-regulator. Dette er en proporsjonal-integrasjon-derivasjons-regulator som vil gi en jevnere og bedre tilnærming til referanseverdien. PID-regulatoren er avhengig av at de tekniske komponentenes pådrag er regulerbart (varierende effekt).^[52]

11 Løsningsvisualisering

Videre følger 3 rendererte framstillinger av den valgte løsningen.



Figur 91 : Renderert framstilling av valgt løsning for IncubAid-kuvøsen. Framstillingen viser det valgte designet på kuvøsetoppen med 4 gjennomføringer på kuvøsetoppens kortsider. Den buede toppen med rette vegger forsøker å kombinere det praktiske ved å ha rette vegger med de gode strømningssegenskapene til et sirkulært design. Det premature barnet ligger på den rosa madrassen. Mellom kuvøsetoppen og kuvøsebunnen ligger kuvøseplaten. Denne har åpninger på kortsidene for tilførsel av frisk og oppvarmet luft. De 5 grå punktene viser målepunktene brukt i simuleringene. Disse er i overenstemmelse med IEC-60-601-2-19-standardens spesifiserte målepunkter.



Figur 92: Detaljillustrasjonen viser gjennomføringer. Disse brukes til å føre kabler inn i kuvøsen, men fungerer også som utløp for luften. Gjennomføringene har 1mm åpninger mellom gummiklaffene.



Figur 93: Kuvøsebunnen med luftkanalen som leder lufta inn i kuvøsen. Luftkanalen er tilkoblet vifta som leverer friskluft til systemet. Kuvøsens varmeelement ligger inne i kanalen og varmer opp lufta før denne sendes inn i kuvøsetoppen.

12 Produksjon og kostnadsvurderinger

Videre følger en kostnadsvurdering av kuvøsen og de tekniske komponenter som er blitt bestemt og spesifisert i denne rapporten.

Kuvøsen

Målsatte tegninger av kuvøsen ble sendt ut til "Ny Plast AS" for å få et prisoverslag. "Ny Plast AS" bearbeider polykarbonat og kan produsere kuvøsen med det valgte designet. Kuvøsen vil bli vakuumformet med Resin-polykarbonat. Prisforespørselen gjelder kuvøsetoppen (optimert design 2), kuvøseplate med luftåpninger og kuvøsebunnen.

"Ny Plast AS" kom med følgende pristilbud (se Vedlegg 7 for detaljer):

- Pris pr kuvøser ved produksjon av 2 enheter: 39345 NOK
- Pris pr kuvøse ved produksjon av 100 enheter: 9845 NOK

Vifte

Den valgte vifta er en aksial elektrovifte; Papst 8412 NGLV.

Pris: 25 EUR = 206,5 NOK^[53] (med omregningskurs: 1 EUR = 8,26 NOK)

Varmeelement

Varmeelementer kommer i forskjellige typer, størrelser og former. Hvilket type varmeelement som bør brukes i IncubAid-kuvøsen avhenger av hvordan det endelige designet på kuvøsebunnen og komponentmodulene blir. Simuleringer er blitt gjennomført med et plate-varmeelement. Elementets størrelse er bestemt til 200W.

Pris: 177,1 NOK^[54]

Utover de nevnte komponentene er det et utall komponenter og deler som bør være med i det ferdige IncubAid produktet. Disse vil ikke bli prissatt i denne oppgaven:

- Ventilasjonsmodul (med valgte vifte)
- Temperaturmodul (med valgte varmeelement)
- Luftkanal
- Batterimodul
- Luftfuktighetsmodul
- Oksygenmodul
- Elektronikk, styring (styringspanel, sensorer, regulatorer) og sikkerhetsinnretninger
- Madrass

I tillegg kommer pris på produksjon av tilkomstluker, gjennomføringer og feste-anordninger samt andre uforutsette deler/funksjoner som må medfølge det ferdige produktet.

Tabell 23: Kostnadsvurdering per produserte enhet ved produksjon av 2 enheter:

Hva	Type	Hvor	Pris pr stk[NOK]	Antall	Total kostnad[NOK]
Kuvøse	Polykarbonat	BT-Plast	39345	1	39345
Vifte	Papst 8412 NGLV	Low-noise	206,5	1	206,5
Varme-element	200 W plate	Farnell	177,1	1	177,1
Sum					39728,6

Tabell 24: Kostnadsvurdering per produserte enhet ved produksjon av 100 enheter:

Hva	Type	Hvor	Pris pr stk[NOK]	Antall	Total kostnad[NOK]
Kuvøse	Polykarbonat	BT-Plast	9845	1	9845
Vifte	Papst 8412 NGLV	Low-noise	206,5	1	206,5
Varme-element	200 W plate	Farnell	177,1	1	177,1
Sum					10228,6

13 Prosessevaluering og diskusjon

13.1 Konseptutviklingsarbeidet og forbedringspotensialer

Kartlegging av barnets fysiologi og behov var både vanskelig og tidkrevende. Det var vanskelig å vurdere hva som er nødvendig å ta hensyn til i forhold til utvikling av en kuvøse. Det kunne nok med fordel blitt brukt noe mindre tid på å lete etter artikler i medisinske databaser og lignende, da mange av disse var i overkant detaljerte og avanserte. Mange var også meget gamle (1960-70).

Det kunne blitt lagt mer fokus på bruksanvisninger og sykehuspraksis for behandling av premature barn. Disse inneholder mye god informasjon om hvilke miljøparametere som er riktig for barnet, men de sier ingenting om hvorfor.

Eksisterende kuvøses spesifikasjoner sier også mye om hvilke spesifikasjoner og miljøparametere IncubAid-kuvøsen bør klare å oppnå.

Standarden for kuvøser ble hentet inn noe sent arbeidet. Denne kunne godt satt standarden for alle trinn av simuleringene.

Trinn 1 av simuleringene var meget tidkrevende. Strømningssimuleringer tar mye tid. 20 forskjellige designalternativer, der de aller fleste måtte kjøres opptil flere ganger for å få lesbare resultater er meget tidkrevende. Noen av simuleringene tok opptil 20 timer å gjennomføre. Dette tok mye tid, men mange forskjellige design ble testet og det beste grovdesignet ble funnet.

Flere ting kunne altså vært gjort noe annerledes for å frigjøre tid til andre områder av utviklingen; detaljoptimering av kuvøsedesign og platekonfigurasjoner har ikke blitt utført. Det kunne vært interessant og sett mer på hvordan detaljoptimering og endringer av luftåpningen ville endret kuvøsens egenskaper og ytelser. Det kunne også blitt mer tid til mer detaljerte simuleringer av kuvøsebunnen med vifte, luftfukter og varmeelement. På den måten kunne flere komponenter blitt valgt og en mer korrekt kostnadsvurdering kunne blitt gjort. Alt dette må nå bli en del av det videre arbeidet. Grovdesign på kuvøsetopp og bunn, samt barnets behov er kartlagt. Dette kan brukes som en mal for videre arbeid.

Trinn 1 og 2 av simuleringene tok utgangspunkt i luft som strømmer gjennom kuvøsen med et definert innløp og et definert utløp. Dette viste seg å ikke fungere så godt når simuleringene ble utført med kuvøsebunn med vifte og varmeelement. Kuvøsetoppens form ble valgt på bakgrunn av trinn 1 og 2 av simuleringene. Den endelige løsningen har et annet konsept for tilføring av luft der luften tilføres i begge ender av platen og siger ut gjennom kuvøsens små åpninger ved gjennomføringene. Det kunne vært interessant å simulere noen andre platekonfigurasjoner (lufttilførsel langs platens langsider) med det valgte kuvøsetoppdesignet.

Verifikasjon

Det er vanskelig å skulle verifisere resultatene. Programvarens forhåndsinnstilte konfigurasjoner har blitt brukt så mye som mulig. Dessuten har glippstørrelsen ("gapsize") og veggtykkelsen ("wall thickness") blitt justert riktig til 4 mm. Dette bidrar til mer korrekte resultater. Utover dette er det blitt brukt forholdsvis grovt

mesh, noe som kan resultere i mindre nøyaktige resultater. Dette har vært nødvendig på grunn av det høye antallet analyser i kombinasjon med begrenset tilgjengelig datakraft. Vedlegg 6 viser mesh plot og konvergensplot for trinn 3 av simuleringene. Konvergensplottet viser at temperaturverdiene konvergerer fint, mens CO₂- og luftfraksjonene går veldig opp og ned og ikke er i nærheten av å konvergere.

Temperaturverdiene oppnådd i simuleringene er forholdsvis gode, mens CO₂-verdiene må sees på som forholdsvis unøyaktig.

Ved å se på summen av maksimale CO₂-fraksjon og minste luftfraksjon, kan simuleringenes feilmargin få et tall. For de fleste simuleringene ligger denne summen på rundt 0,975. Denne summen skulle vært 1, ettersom CO₂ og luft er de eneste stoffene som er tilstede. Dette indikerer en feilmargin på minst 2,5%.

Om 2,5% er største feilmargin vites ikke. Resultatene fra simuleringen er derfor ikke absolutte, men kan brukes som en god indikasjon for videre utvikling.

13.2 Designrevisjon, produksjon og kostnadsreduksjon

Madrassens dimensjoner kunne vært gjort noe lengre. IEC-standarden^[38] definerer pasienten med alder opptil 3 måneder og vekt mindre enn 10 kg. 3 måneders alder tilsvarer omtrent en lengde på 60 cm, men 10 kg vekt tilsvarer i gjennomsnitt en lengde på over 60 cm.^[39] Selv om standarden ikke direkte setter krav til lengde på madrass, burde nok madrassen i IncubAid-kuvøsen vært tilpasset et barn både opp til 3 måneders alder og opp til 10 kg vekt.

Det ble kun hentet inn prisforespørsel fra en produsent (Ny Plast AS). En annen produsent ble kontaktet ("BT Plast"), men produsenten endte opp med å heller anbefale "Ny Plast AS" til denne jobben. Prisen var forholdsvis høy ved produksjon av få enheter. Det ville vært interessant å hente inn priser fra andre aktører for å se om noen kunne levert en prototype av kuvøsen til en lavere pris. Det hadde også vært interessant å være i en lengre dialog med en produsent. På den måten kunne produsenten kommet med forslag til hvordan endringer i designet ville påvirket produksjonskostnadene.

Som nevnt på slutten av kapittel 9.2 kunne det vært interessant å jobbet videre med optimert design 3 også. Designet var nytenkende og annerledes, samt at det hadde gode termiske egenskaper.

14 Konklusjon

Etter en omfattende simuleringsprosess har et optimert kuvøsedesign for IncubAid-kuvøsen blitt utviklet. Designet har gode termiske egenskaper samtidig som det er funksjonelt og praktisk i frakt. Den endelige løsningen tilfredsstillende de kravene standarden stiller som har vært mulig å teste med den programvaren som har vært tilgjengelig.

14.1 Resultater og anbefalinger

Resultater

IncubAid-kuvøsens valgte miljøparametere tilfredsstillende barnets behov for varme og frisk luft. Kuvøsen tilfredsstillende også IEC-standardens krav til jevn temperaturfordeling og lave strømningshastigheter.

Valgt løsning består av optimert design 1, 200 watts varmeelement og Papst8412 NGLV vifte. Strømningssimuleringene viser at det valgte designet og de tekniske komponentene tilfredsstillende de egendefinerte målene om temperaturregulering mellom 20 og 39 °C. Dette ble kontrollert både ved 20 °C og 10 °C omgivelsestemperatur. Strømningshastighetene rundt det premature barnet tilfredsstillende også det egendefinerte målet for IncubAid-kuvøsen på 0,1 m/s (ved 20°C omgivelsestemperatur).

Anbefalinger

IncubAid-kuvøsens design skiller seg noe fra de eksisterende kuvøser mer kantete design. Den buede toppen og de avrundede hjørnene bidrar til gode termiske og strømningsrelaterte egenskaper, mens de rette veggene gir den praktiske funksjonaliteten som er nødvendig.

De doble veggene gir meget god isolasjon og bidrar til gode termiske og strømningsrelaterte egenskaper.

Bruken av strømnings-simuleringer har bidratt til at en rekke forskjellige kuvøsedesign har blitt testet. Prototypetesting av et tilsvarende antall design hadde ikke vært mulig av hensyn til tid og kostnader. Simuleringene har noe unøyaktighet og avvik fra reelle tester, men de gir en meget god pekepinn på hvilket design som bør videreutvikles og eventuelt prototypetestes.

Den valgte løsningen og den informasjonen som framkommer av denne rapporten bør ligge til grunn for videre utvikling av IncubAid-kuvøsen.

14.2 Videre arbeid

Videre kommer det noen tanker om hva som bør være veien videre i utviklingen av IncubAid-kuvøsen og hva som er viktige fokusområder:

- Det bør gjøres en grundigere studie på hvilke tekniske komponenter som er nødvendige for å oppnå den kvaliteten og overlevelsessannsynligheten som er ønskelig. Jo flere tekniske komponenter som følger med kuvøsen, jo høyere blir

prisen. Her blir det viktig å finne en gylden middelvei slik at IncubAid-kuvøsen kan brukes til å redde flest mulig premature barn på en forsvarlig og trygg måte.

- Det bør utføres et detaljdesign og optimering av lufttilførsel i kuvøsen. Det bør gjøres ytterligere undersøkelser på hvordan plasseringen, form og dimensjoner på innløp og utløp påvirker miljøet inne i kuvøsen.
- Spesifisering, design og verifisering av tekniske komponenter og moduler. Noen tekniske moduler vil nok være hensiktsmessig å utvikle på egenhånd, mens andre kan bygges ved hjelp av eksisterende tekniske komponenter. Oksygenmodul og batterimodul er trolig hensiktsmessig at består av eksisterende tekniske komponenter. Luftfuktermodule er derimot et fint produktutviklingsprosjekt der man kan se på muligheten for å implementere destillasjon av vann i modulen. Det må også designes et elektrisk anlegg med styringsenhet og styringspanel som regulerer miljøet i kuvøsen og ivaretar barnets sikkerhet. Automatisk regulering av kuvøsen vil også inkludere sensorer for måling av barnets temperaturer, oksygenmetning i blod og den relative fuktigheten i luften. Noen tanker rundt regulering av miljøparametrene er beskrevet i kapittel 10.2.
- Åpningsfunksjonaliteten til kuvøsen bør vurderes. Skal det være mulig å åpne en eller flere hele vegger i tillegg til tilkomstlukene? Flere av dagens konvensjonelle kuvøser innehar muligheten for å åpne hele vegger, noe som gir bedre tilgang til barnet enn det tilkomstlukene kan gi. Dersom en av langveggene skal kunne åpnes, bør det vurderes å flytte luftinnløpene i IncubAid-kuvøsen til kuvøsens langsider. Noen av dagens kuvøser har løsninger for å opprettholde riktig miljø for barnet selv med en av veggene åpne. Dette gjøres ved hjelp av en vegg av luft som blåser der langveggen er fjernet.
- Videre arbeid innebærer også produksjon av en prototype. Denne bør bygge på de resultater som framkommer av denne rapporten. Prototypen må gjennomgå grundig testing. Den bør testes etter de krav og forhold som står beskrevet i standard IEC-60601-21-9. I standarden er kravene og hvordan disse skal testes beskrevet. Denne er meget praktisk og informativt skrevet og det anbefales derfor å følge standarden. Testingen kan skje på forskjellige måter, slik som beskrevet i kapittel 10.1.

15 Kilder

Skriftlige kilder

1. S. E. Finnøy; Ø. A. Larsen. (2013). IncubAid, TIP300 Prosjektrapport. 83 s.
7. The Commission on Macroeconomics and Health(WHO). (2001). Macroeconomics and Health: Investing in Health for Economic development. 213.
8. World Health Organization. (2012). Born too soon: The global action report on preterm birth. ISBN: 978 92 4 150343 3. 126 s.
15. Saugstad, O. D. (2009). *Når barnet er født for tidlig*. Oslo: Spartacus. 221 s. : ill. s.
17. Fanaroff, A. A. & Lissauer, T. (2011). *Neonatology at a glance*. Chichester: Wiley-Blackwell. 200 s. : ill. s.
18. Çengel, Y. A. & Boles, M. A. (2007). *Thermodynamics: an engineering approach*. Boston: McGraw-Hill. XXXI, 976 s. : ill. s.
21. Grimenes, A. A., Jerstad, P. & Sletbak, B. Fluidmekanikk FYS1000: Universitetet i Oslo.
22. Brautaset, K. (1983). *Innføring i oljehydraulikk*. [Oslo]: Universitetsforl. 340 s. : ill. s.
23. Dassault Systemes Solidworks. (2013). Technical Reference SolidWorks Flow Simulation 2013. 192 s.
32. Committee on Environmental Health. (1997). Noise: A Hazard for the Fetus and Newborn. *Pediatrics*, 100 (4): 724-727.
33. Sauer, P. J. J., H.J.Dane & Visser, H. K. A. (1984). New standards for neutral thermal environment of healthy very low birthweight infants in week one of life. *Archives of Disease in Childhood*, 59: 18-22.
38. Norsk Elektroteknisk Komite. (2009). *NEK IEC 60601-2-19*. Medical Electrical Equipment Part 2-19: Particular requirements for the basic safety and essential performance of infant incubators. 75 s.
52. Gravdahl, J. T. & From, P. J. (2010). *Innføring i dynamikk og reguleringsteknikk*.

Webkilder

2. Forente Nasjoner. (2014). *FN's tusenårs mål*. Tilgjengelig fra: <http://www.fn.no> (lest 08.05).
3. World Health Organization. (2014). *MDG 4: Child health: Under-five mortality Data by country*. Tilgjengelig fra: apps.who.int (lest 08.05).
4. Tidsskriftet for den norske legeforening. *Nyfødt dødelighet – nøkkel til redusert barnedødelighet*. Tilgjengelig fra: <http://www.tidsskriftet.no> (lest 08.05).
9. Wikipedia. (2014). *Least Developed Country*. Tilgjengelig fra: <http://www.wikipedia.org>.
10. Norad. (2014). *Norsk bistand i tall*. Tilgjengelig fra: <http://www.norad.no> (lest 08.05).
11. Store medisinske leksikon. (2014). *Hypotermi*. Tilgjengelig fra: sml.snl.no (lest 08.05).
12. Store medisinske leksikon. (2014). *Hypoksemi*. Tilgjengelig fra: sml.snl.no (lest 08.05).
13. Store medisinske leksikon. (2014). *Hypoksi*. Tilgjengelig fra: sml.snl.no (lest 08.05).
14. Store medisinske leksikon. (2014). *Antistoffer*. Tilgjengelig fra: sml.snl.no (lest 08.05).

16. Store norske leksikon. (2014). *Overtrykksventilasjon*. Tilgjengelig fra: <http://www.snl.no> (lest 08.05).
19. SolidWorks. (2011). *Flow Simulation Presentation*. Tilgjengelig fra: <http://www.solidworks.com> (lest 08.05).
20. Wikipedia. (2014). *Computational Fluid Dynamics*. Tilgjengelig fra: en.wikipedia.org (lest 08.05).
25. MayoClinic. (2014). *Diseases and Conditions - Premature birth*. Tilgjengelig fra: <http://www.mayoclinic.org> (lest 08.05).
26. King Edward Memorial Hospital. (2014). *NCCU Clinical Guidelines Thermoregulation*. Tilgjengelig fra: <http://kemh.health.wa.gov.au/> (lest 09.05).
27. Wikipedia. (2014). *Fraction of Inspired Oxygen*. Tilgjengelig fra: en.wikipedia.com.
28. Store Medisinske Leksikon. (2014). *Lungeventilasjon*. Tilgjengelig fra: sml.snl.no (lest 09.05).
29. Loyola University Chicago Stritch School of Medicine. *Mechanical Ventilation in the Neonate*. Tilgjengelig fra: <http://www.meddean.luc.edu/> (lest 09.05).
30. Store Medisinske Leksikon. (2014). *Respiratorisk distress-syndrom*. Tilgjengelig fra: sml.snl.no (lest 08.05).
31. The Royal Children's Hospital Melbourne. (2014). *Clinical Guidelines: Environmental Humidity for Premature Neonates*. Tilgjengelig fra: <http://www.rch.org.au> (lest 09.05).
34. GE Healthcare. (2014). *Giraffe Incubator Specs*. Tilgjengelig fra: <http://www.gehealthcare.com> (lest 09.05).
37. Wikipedia. (2014). *IEC 60601*. Tilgjengelig fra: en.wikipedia.org (lest 09.05).
39. Babycenter. (2014). *Physical Development: Your child's size and growth timeline*. Tilgjengelig fra: <http://www.babycenter.com> (lest 09.05).
40. Babyverden. (2014). *Fosterets utvikling - Uke for uke*. Tilgjengelig fra: <http://www.babyverden.no> (lest 12.05).
41. Radio Netherlands Worldwide - Flickr/inferis. *Dutch gynecologists want specialised natal care - Photo: Baby in Incubator*. Tilgjengelig fra: <http://www.rnw.nl> (lest 10.09).
42. Anatomy For Sculptors. (2014). *Human proportion calculator*. Tilgjengelig fra: hpc.anatomy4sculptors.com (lest 10.05).
43. Store Norske Leksikon. (2014). *Luft*. Tilgjengelig fra: <http://www.snl.no> (lest 10.05).
44. Wikipedia. (2014). *Breathing*. Tilgjengelig fra: en.wikipedia.org (lest 10.05).
45. Medical Designbriefs. (2013). *Polycarbonate Remains Proven and Preferred for Medical Applications* Tilgjengelig fra: <http://www.medicaldesignbriefs.com> (lest 10.05).
47. Dutch Drehle Senior Technical Associate SGIA. (2014). *Polycarbonate(PC): Know your substrate*. Tilgjengelig fra: <http://apps.sgia.org> (lest 10.05).
48. Sabic Innovative Plastic. (2014). *Lexan technical manual*. Tilgjengelig fra: sfs.sabic.eu (lest 10.05).
49. EBM Papst. (2014). *Papst 8412 NGLV DC Axial fan*. Tilgjengelig fra: <http://www.ebmpapst.com.au> (lest 10.05).
51. Datrend. (2014). *Incutest*. Tilgjengelig fra: <http://www.datrend.com> (lest 12.05).
53. Low Noise. (2014). *Papst 8412 NGLV*. Tilgjengelig fra: <http://www.low-noise.de> (lest 10.05).
54. Farnell. (2014). *HP06-2/20-240 - HEATER*. Tilgjengelig fra: no.farnell.com (lest 12.05).

Personlig korrespondanse

5. Prof./Dr. T. W. Ruud Hansen Oslo Universitetssykehus. (2014). *Personlig korrespondanse med ekspert.*
6. Prof./Dr. Netsanet Workneh Jimma University Hospital Ethiopia. (2014). *Personlig korrespondanse med ekspert.*
24. dr. Inger Elisabeth Silberg Oslo Univeritetssykehus. (2014). *Personlig korrespondanse med ekspert.*
35. GE Healthcare Norge. (2014). *Personlig korespondanse med kuvøseleverandør.*
36. Avalon Medical. (2014). *Personlig korrespodanse med norsk kuvøseimportør.* (09.05).
50. Secma AS. (2014). *Personlig korrespondanse med leverandør av Datrend Incutest.*

Programvare

46. Granta CES Edupack. (2013). *Polymers - Material Database: PC(low viscosity, molding and extrusion).* 2013 utg.

16 Vedlegg

16.1 Vedlegg 1: Tabelliste

Tabell 1: Egenprodusert tabell basert på tall fra Verdens Helseorganisasjon. Tabell med oversikt over barne- og nyfødt dødelighet i forskjellige verdensregioner. Tabellen viser totalt antall dødsfall og antall dødsfall per 1000 fødsler ^[3] :.....	13
Tabell 2: Fremdriftsplan	18
Tabell 3: Tabell med tekniske symboler, betydning og SI-enhet	21
Tabell 4: Tabell med brukte benevninger og forkortelser	21
Tabell 5: Formeltabell:.....	21
Tabell 6: Tabellen viser premature barns dimensjoner ved forskjellige gestasjonsaldere ^[25]	26
Tabell 7: Tabellen viser termisk nøytralt miljø for premature barn med forskjellig alder (0-4 dager) og fødselsvekt ^[26]	28
Tabell 8: Tabellen viser termisk nøytralt miljø for premature barn med forskjellig alder (5 - 42 dager) og fødselsvekt ^[26]	28
Tabell 9:Anbefalte verdier for luftfuktighet for premature barn. Tabellen er basert på tall fra en klinisk retningslinje. ^[31]	30
Tabell 10: Egenprodusert tabell som sammenfatter spesifikasjonene til et utvalg av eksisterende kuvøser. Tabellen er basert på databladene til de forskjellige kuvøsene ^[34] :	31
Tabell 11: Ønskede miljøparametere og dimensjoner for kuvøsen, med nedre og øvre grense som viser variasjonsspekteret. De øverste miljøparametere vil bli målt og vurdert i strømnings simuleringene. De nederste er spesifisert for kuvøsens sluttprodukt men vil ikke bli inkludert i strømnings simuleringene.	37
Tabell 12: Oppsett for strømnings simuleringene:.....	53
Tabell 13: Valg av dimensjoner og proporsjoner for barnemodellen.....	54
Tabell 14: Sammenfatning av resultater. Tabellen er basert på tall og figurer fra Vedlegg 2.1 og 2.2(CD). Temperatur variasjonen er forskjellen mellom maksimums-verdien til maksimumstemperatur og minimumsverdien til minimumstemperaturen. Kelvinverdiene er omregnet til celsiusverdier. For de rektangulære (1-10) og sirkulære (11-20) designalternativene er de 3 beste og dårligste verdiene i hver kategori blitt markert i henholdsvis grønt og rosa.	57
Tabell 15: Sammenfatning av resultater fra trinn 2 av simuleringene. Tabellen er basert tall og figurer fra Vedlegg 2.3 og 2.4(CD). Temperatur variasjonen er forskjellen mellom maksimumsverdien til maksimumstemperatur og minimumsverdien til minimumstemperaturen. Kelvinverdiene er omregnet til celsiusverdier. De 3 beste og dårligste oppnådde verdiene i hver kategori er markert med henholdsvis grønt og rosa.....	65
Tabell 16: Resultater forsøk 1	69
Tabell 17: Resultater forsøk 2	72
Tabell 18: Resultater forsøk 3	76
Tabell 19: Resultater forsøk 4	78
Tabell 20: Resultater forsøk 5	80
Tabell 21: Resultater forsøk 6	81
Tabell 22: Skjematisk oppsummering av resultater som viser den valgte løsningens ytelser ved forskjellige effekter og omgivelsestemperaturer. Strømnings hastighetene er også presentert. Disse kan være noe unøyaktige, ettersom de ikke har blitt valgt som mål for konvergens (se Vedlegg 2.5(CD) for fullstendige resultater):	85

Tabell 23: Kostnadsvurdering per produserte enhet ved produksjon av 2 enheter: ...90

Tabell 24: Kostnadsvurdering per produserte enhet ved produksjon av 100 enheter:90

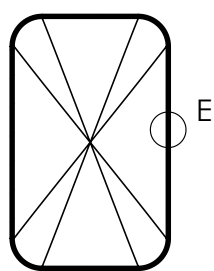
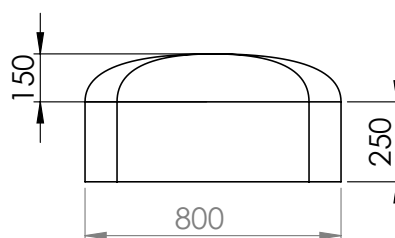
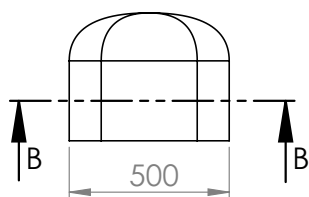
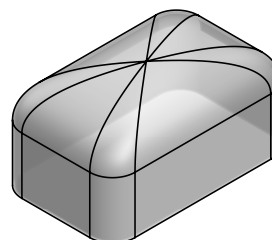
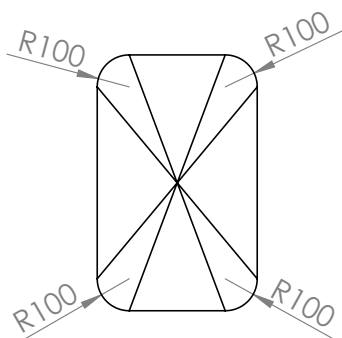
16.2 Vedlegg 2: Vedleggsliste CD

Videre følger en oversikt over hvilke vedlegg som følger med CDen.

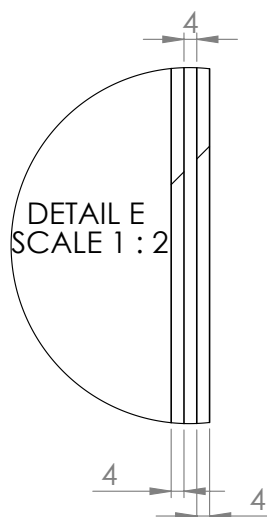
Vedleggsnummer	Innhold	Filtype
2.1	Resultater trinn 1	Regneark(excel)
2.2	Plot trinn 1	Tekstfil(Word)
2.3	Resultater trinn 2	Regneark(excel)
2.4	Plot trinn 2	Tekstfil(Word)
2.5	Resultater trinn 3	Regneark(excel)

16.3 Vedlegg 3: Mål og dimensjoner endelig løsning

Dobbeltvegget 2 x 4mm vegger med 4 mm luftslisse mellom veggene. Se detalj E.
 Målene er ytre mål på den ytterste vegg. Fikk ikke satt mål på den buede toppen, da denne ikke er sirkulær. CAD modell kan oversendes.
 Alle mål i mm.
 Materiale: Polykarbonat



SECTION B-B



Bunn tilpasset toppen. 8mm veggtykkelse.
Alle mål i mm.
Materiale: Polykarbonat

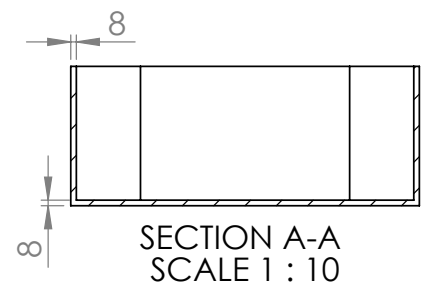
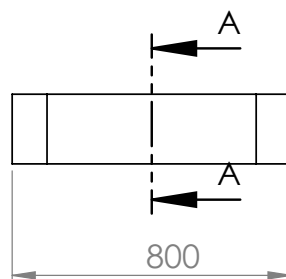
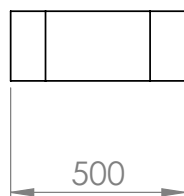
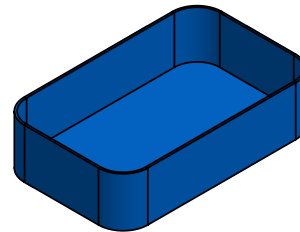
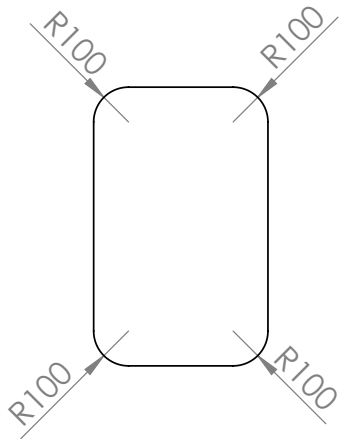
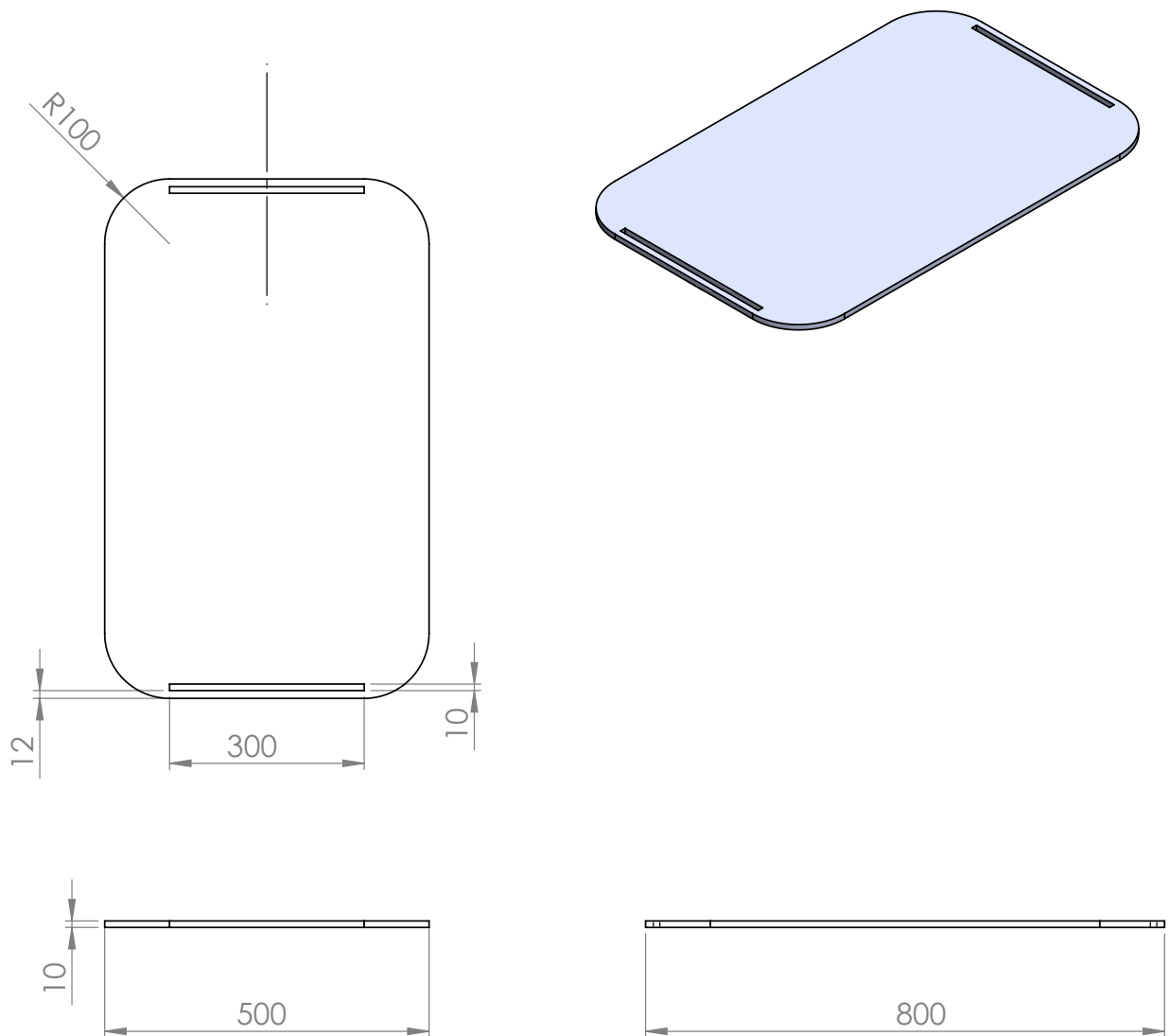
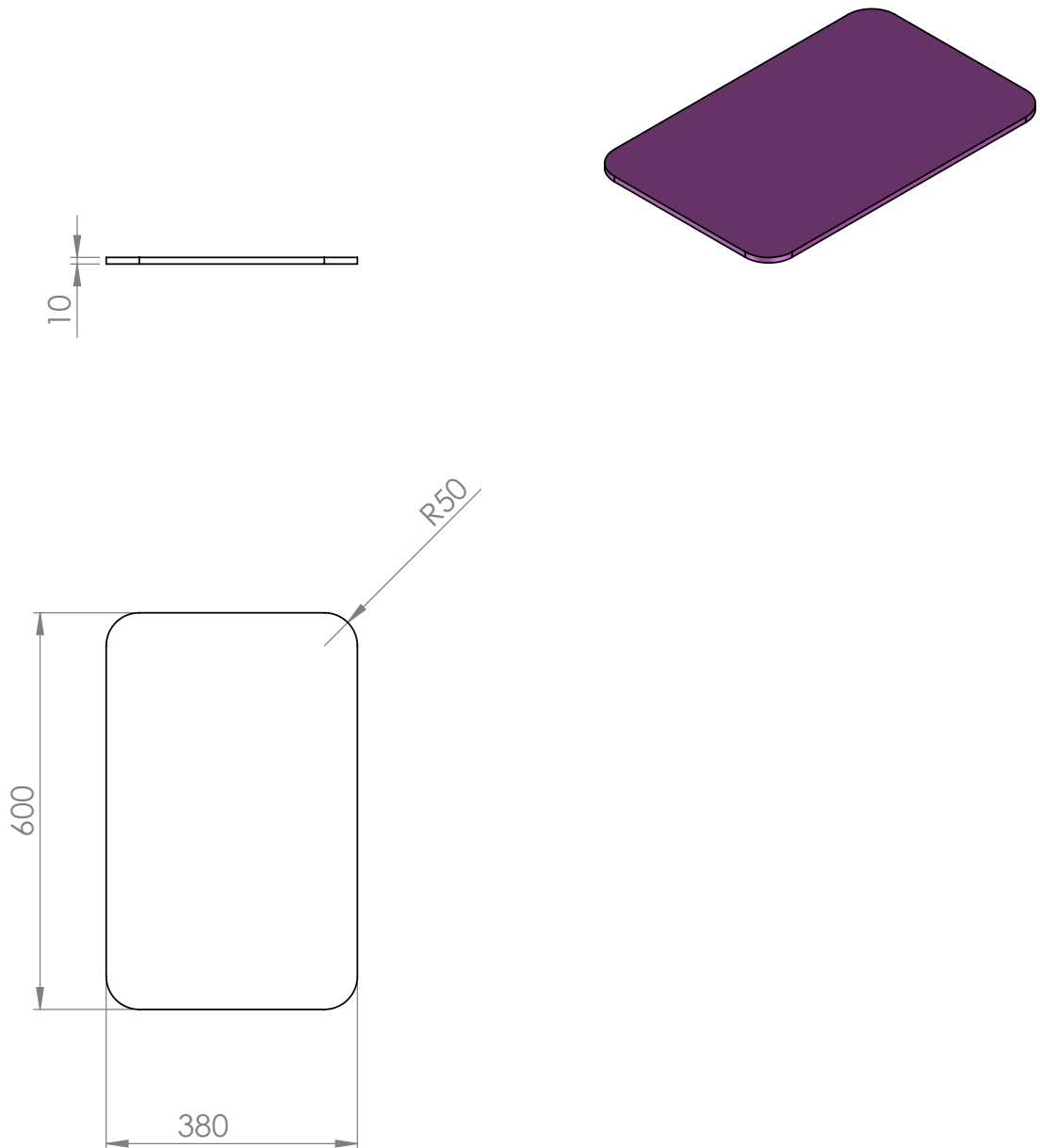


Plate tilpasset toppen og bunn. 10mm tykkelse.
Alle mål i mm.
Materiale: Polykarbonat

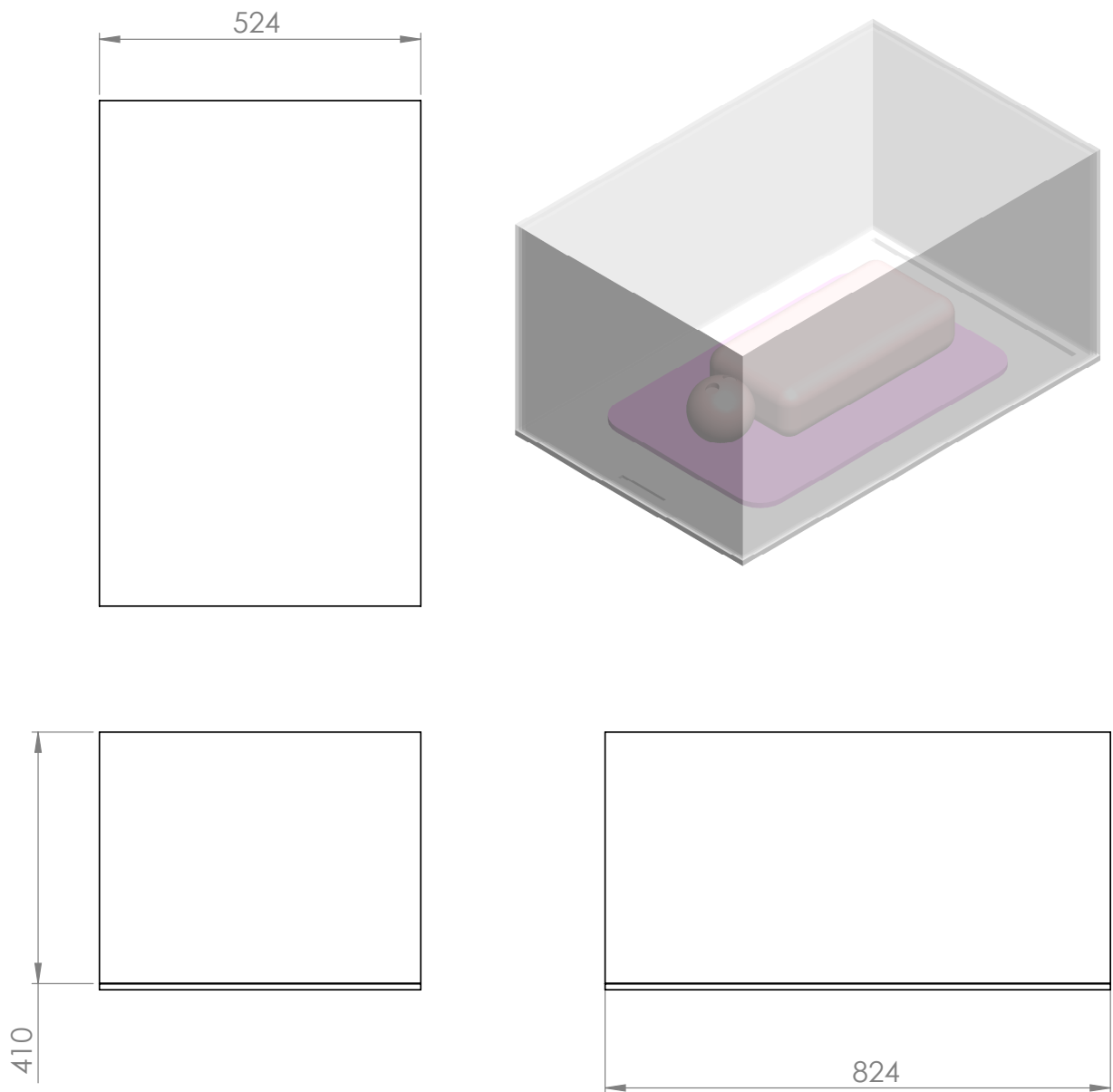


16.4 Vedlegg 4: Mål og dimensjoner simulering modeller

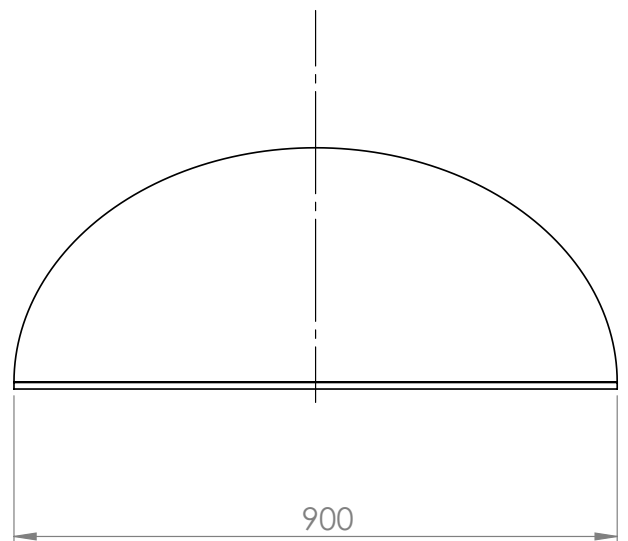
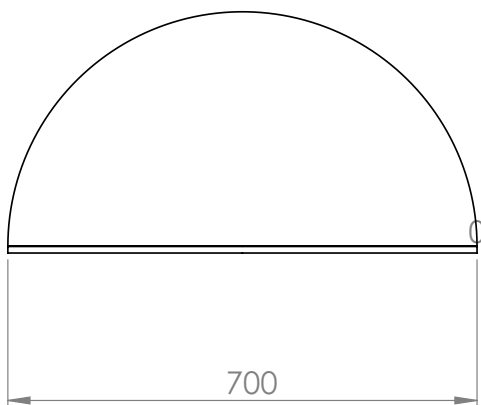
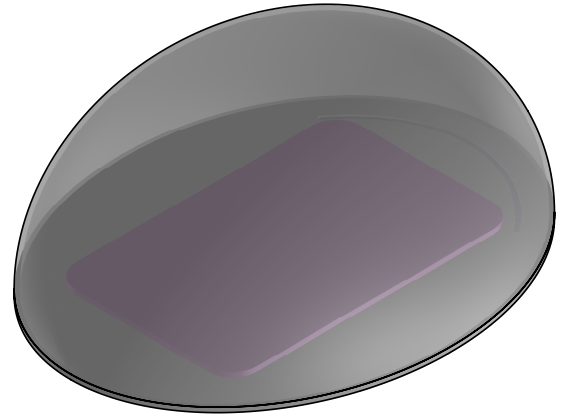
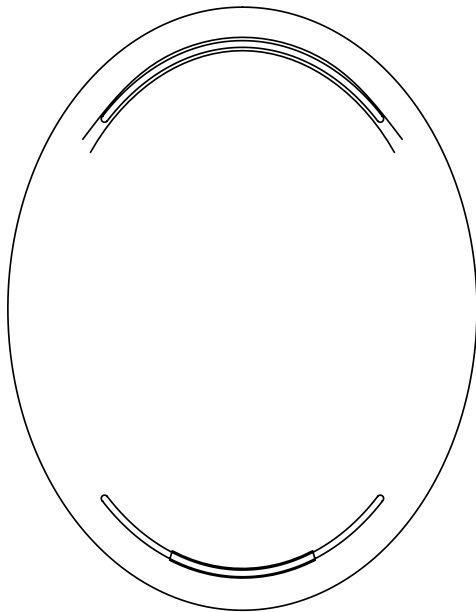
Madrasen



Rektangulært design brukt i trinn 1 og 2 av simuleringene



Sirkulært design brukt i trinn 1 og 2 av simuleringene



16.5 Vedlegg 5: Utfyllende simuleringssoppsett

Trinn 1 og 2:

Simuleringssoppsett for trinn 1 og 2 av simuleringene:

Enhetssystem: SI

Analysetype: External, steady state

Fluid: Luft og CO₂

Omgivelsestemperatur: 20°C

Omgivelsestrykk: 1atm

Innløp: Fast volumstrøm 30L/min @ 65 °C og 90% fuktighet @ 20 °C

Utløp: Omgivelsestrykk (åpent)

Barnets utpust: Fast volumstrøm 2,25L/min @ 37 °C og 100% fuktighet @ 37 °C.

Volumfraksjoner: 0,95 luft og 0,05 CO₂.

Barnets innpust: Fast volumstrøm 2,25L/min

Gravitasjon: 9,81m/s²

For alle designalternativene med kuvøsetopp med enkle vegger er det først forsøkt med følgende mesh:

- Standard mesh resolution level 3
- Wall thickness = 8mm
- Gap size = 10mm (Luftspalter i plate)

For alle designalternativer med kuvøsetopp med doble vegger er det først forsøkt med følgende mesh:

- Standard mesh resolution level 3
- Wall thickness = 4mm
- Gap size = 4mm (Luftslisse mellom ytter- og innervegg)

Dersom konvergens ikke har blitt oppnådd har det blitt brukt et lokal mesh i det aktuelle området:

- Designalternativ 4, 6 og 8 i trinn 1 av simuleringene: Et volum lik en sylinder med diameter 100mm og høyde 100 mm plassert over barnets munn og nese har fått mesh refinement level 5 (forfinet mesh).
- Optimert design 2 ved bruk av 32 cm modell av barnet: Et volum lik en sylinder med diameter 100mm og høyde 100 mm plassert over barnets munn og nese har fått mesh refinement level 4 (forfinet mesh).

Materialeegenskaper til polykarbonat brukt i simuleringene^[46]:

- Massetetthet: 1200 kg/m³
- Termisk konduktivitet: 0,197 W/m°C
- Spesifikk varmekapasitet: 1200 J/kg°C
- Smeltetemperatur: 499K
- Isotropisk
- Dielektrisk

Goals for konvergens trinn 1:

- Temperatur barnets mage(Max, Min, Av)
- CO₂-fraksjon barnets nese(Max)
- Luft-fraksjon barnets nese(Min)

Goals for konvergens trinn 2:

- Temperatur punkter ABCD (Max, Min, Av)
- Temperatur punkt M(max, min, av)
- CO₂-fraksjon barnets nese(Max)
- Luft-fraksjon barnets nese(Min)
- Strømningshastighet ABCDM(Max)

Trinn 3 og 4:

Trinn 3 av simuleringene bruker mye av det samme simuleringsoppsettet som for trinn 1 og 2 av simuleringene. Forskjellen er at simuleringene er gjort med kuvøsebunnen og tilført luft skjer ved bruk av en vifte og varmeelement. I tillegg har det blitt gjort noen endringer i materialer:

- Kuvøseplaten: Polykarbonat
- Madrass: Isolator (så ikke barnet skal bli varmet opp på grunn av høye temperaturer i kuvøsebunnen)
- Varmeelement: Nichrome.
- Isoleringsplate under varmeelementet: Isolator
- Alle andre deler er polykarbonat.

Meshing er gjort med standard mesh level 3 og spesifisert "wall thickness" på 4mm og "Gap size" 4mm. I tillegg er det brukt et lokalt mesh rundt gjennomføringene. Her er "gap size" satt til 1mm grunnet gjennomføringenes 1mm åpninger.

Goals for konvergens:

- Temperatur barnets mage(Max, min, Av)
- Temperatur punkter ABCD (Max, Min, Av)
- Temperatur punkt M(max, min, av)
- Volumstrøm levert fra vifte(måles ved vifteinnløpet)

Goals ikke for konvergens:

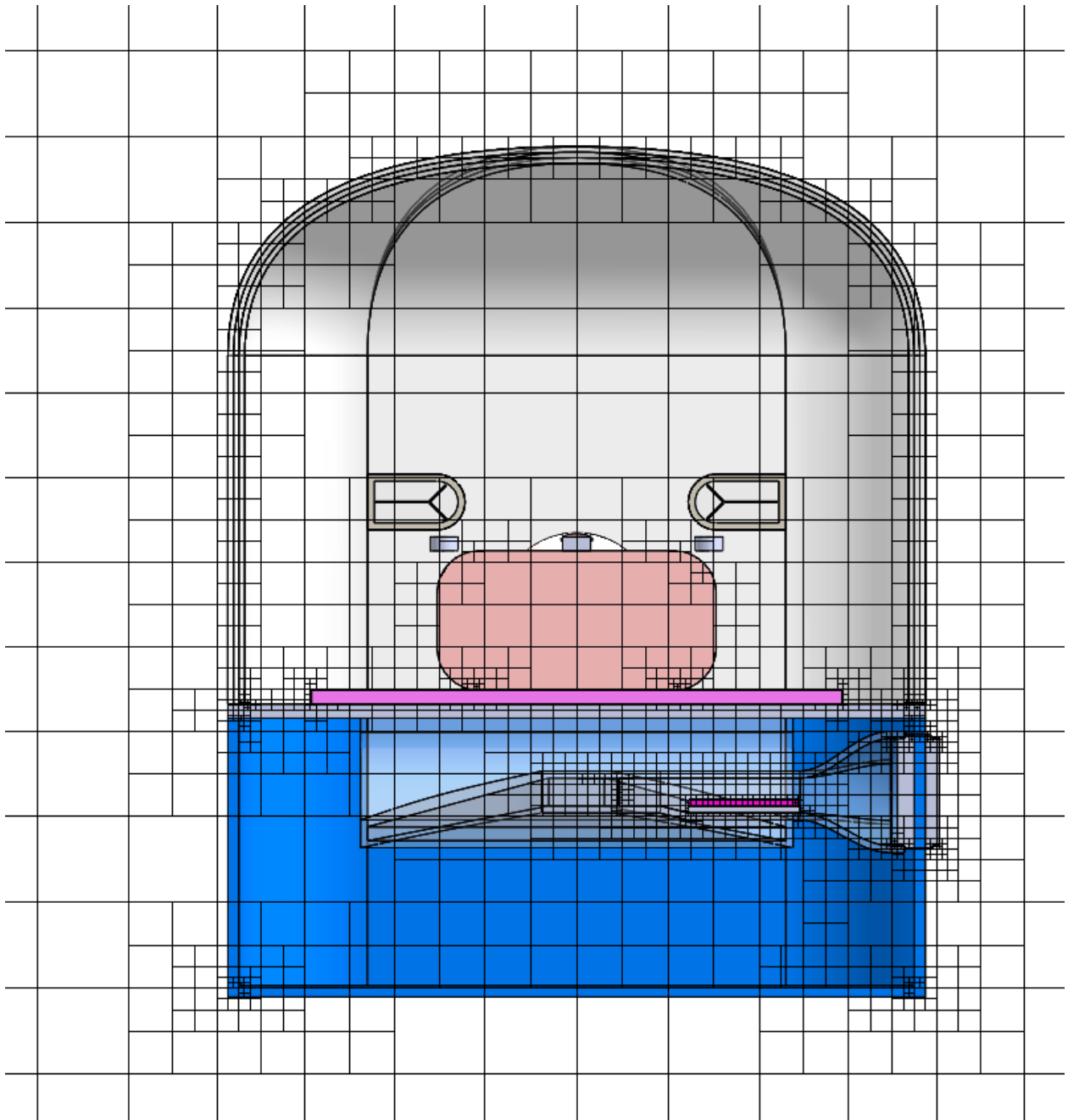
- Max CO₂ fraksjon(barnets nese)
- Min luft fraksjon(barnets nese)
- Max strømningshastighet ABCDM

Trinn 4 av simuleringene bruker samme verdier som trinn 3, men analysen er tidsavhengig/transient (time-dependent). Dette gjør at man kan se utviklingen i kuvøsen over tid. Statiske analyser (steady-state) som er brukt i simuleringstrinn 1,2 og 3 gir kun resultater når stabilitet i systemet er oppnådd.

16.6 Vedlegg 6: Verifikasjon

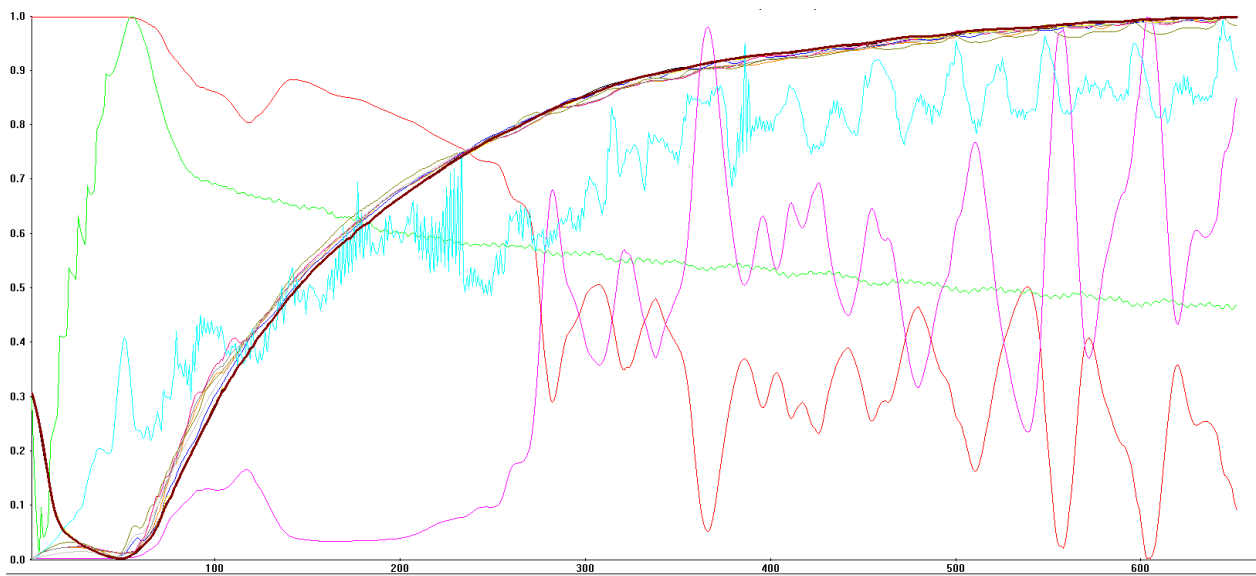
De fleste simuleringene har hatt et celleantall på mellom 100000 – 200000.

Meshplot



Meshplottet er hentet fra forsøk 4, trinn 3 av simuleringer.

Konvergensplot



Temperaturmålene er de som konvergerer fint. Volumstrømmen konvergerer i mellomgrønt. Strømningshastighet i turkis. Luft og CO2 går opp og ned og er langt unna konvergens i dette plottet. Konvergensplottet er hentet fra forsøk 4, trinn 3 av simuleringer.

16.7 Vedlegg 7: Pristilbud fra Ny Plast AS

Produksjonskostnad etter tilbud fra Ny Plast AS. Tabellene under viser kostnadsposter ved produksjon av 2 og 100 enheter. Verktøy prisene varierer med antallet som skal produseres. Dette vises i tabellene under:

Produksjonsantall	2		
Yttervegg:			
Engangsutgifter	Pr stk	Antall	Sum
Materiale	550	2	1100
Verktøy	15000	1	15000
Fresejigg	6500	1	6500
Produksjonskostnad 2 stk	4000	1	4000
Innervegg:			
Engangsutgifter	Pr stk	Antall	Sum
Materiale	550	2	1100
Verktøy	15000	1	15000
Fresejigg	6500	1	6500
Produksjonskostnad 2 stk	4000	1	4000
Bunn:			
Engangsutgifter	Pr stk	Antall	Sum
Materiale	695	2	1390
Verktøy	11000	1	11000
Fresejigg	5500	1	5500
Produksjonskostnad 2 stk	4000	1	4000
Plate:			
Engangsutgifter	Pr stk	Antall	Sum
Materiale	350	2	700
Verktøy	0	1	0
Fresejigg	1500	1	1500
Produksjonskostnad 2 stk	1400	1	1400
Totalsum kuvøser			78690
Pris pr stk:			39345

Produksjonsantall	100		
Yttervegg:			
Engangsutgifter	Pr stk	Antall	Sum
Materiale	550	100	55000
Verktøy	29000	1	29000
Fresejigg	6500	1	6500
Produksjonskostnad 2 stk	4000	50	200000
Innervegg:			
Engangsutgifter	Pr stk	Antall	Sum
Materiale	550	100	55000
Verktøy	29000	1	29000
Fresejigg	6500	1	6500
Produksjonskostnad 2 stk	4000	50	200000
Bunn:			
Engangsutgifter	Pr stk	Antall	Sum
Materiale	695	100	69500
Verktøy	22000	1	22000
Fresejigg	5500	1	5500
Produksjonskostnad 2 stk	4000	50	200000
Plate:			
Engangsutgifter	Pr stk	Antall	Sum
Materiale	350	100	35000
Verktøy	0	1	0
Fresejigg	1500	1	1500
Produksjonskostnad 2 stk	1400	50	70000
Totalsum kuvøser			984500
Pris pr stk:			9845



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no